

“MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES DE TRANSPORTE FLUVIAL”

MARIA CAROLINA SARABIA VIANA

**UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA**

2006

**“MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN
DE OPERACIONES DE TRANSPORTE FLUVIAL”**

MARIA CAROLINA SARABIA VIAÑA

Tesis de Grado

En la asignatura:

Proyecto de Grado II

Director:

Ing. CARLOS D. PATERNINA A., Ph.D.

Ingeniería Industrial Universidad del Norte

Director de Departamento de Ingeniería Industrial

Director de la Maestría en Ingeniería Industrial

Profesor Investigador Dpto. de Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD DEL NORTE

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILLA

2006

Con visto bueno del director,

Ing. Carlos D. Paternina A., Ph.D.

Barranquilla, Julio 27 de 2006

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia, los cuales han sido parte fundamental de mi proceso de aprendizaje durante los cinco años de carrera. A mis padres y hermano les dedico esta etapa de mi vida que ha culminado. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme terminar esta etapa de mi vida satisfactoriamente y por brindarme cada oportunidad vivida a través de los años.

Gracias a mis padres y hermano por apoyarme desde el principio con mi decisión y ayudarme a que esta meta se hiciera una realidad. A mi familia entera gracias por confiar y creer en mí.

Gracias al Departamento de Ingeniería Industrial por brindarme el soporte necesario para llevar a cabo cada etapa de la carrera. En especial a mi Director de tesis Ing. Carlos Paternina y Asesor Ing. John Ríos, gracias por guiarme y asesorarme de la mejor manera en este proyecto que hoy termina con éxito.

Gracias a mis compañeros de carrera y amigos que junto a mi han vivido cada momento especial en estos cinco años.

A todos Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO DEL PROYECTO	12
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
2.1. ANTECEDENTES	13
2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	18
3. OBJETIVOS	21
3.1. OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	22
4.1. ALCANCES	22
4.2. LIMITACIONES	22
5. MARCO DE REFERENCIA	23
5.1. MARCO TEÓRICO	23
5.1.1. SIMULACIÓN	23
5.1.2. TRANSPORTE FLUVIAL	25

5.2. MARCO CONCEPTUAL	30
5.2.1. CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA NAVEGACIÓN FLUVIAL	30
5.2.2. CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL TRANSPORTE FLUVIAL	32
5.2.3. CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA CARGA	34
5.2.4. CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL MODELO DE SIMULACIÓN	35
5.2.5. CONCEPTOS RELACIONADOS CON VISUAL BASIC	42
5.3. MARCO ESPACIAL	44
5.3.1. RÍO MAGDALENA	44
<u>6. PREDICCIÓN DE RESULTADOS, HIPÓTESIS</u>	<u>46</u>
<u>7. DISEÑO METODOLÓGICO</u>	<u>47</u>
7.1. TIPO DE ESTUDIO	47
7.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	47
7.3. FUENTES Y TÉCNICAS	48
7.4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	48
<u>8. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE FLUVIAL</u>	<u>49</u>
<u>9. DESCRIPCIÓN DEL MODELO</u>	<u>52</u>
9.1. INFORMACIÓN DE ENTRADA	52
9.1.1. ESCENARIO 1: SITUACIÓN ACTUAL	52
9.1.2. ESCENARIO 2: ACTIVACIÓN DEL CONVOY LIBRE EN CARTAGENA	60
9.1.3. ESCENARIO 3: ACTIVACIÓN DE CROSSDOCKING	61

9.2. INFORMACIÓN DE SALIDA	63
<u>10. VALIDACIÓN</u>	<u>65</u>
<u>11. DISEÑO DE EXPERIMENTO</u>	<u>70</u>
<u>12. EVALUACIÓN DE INDICADOR</u>	<u>82</u>
<u>13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>89</u>
<u>14. BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>92</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>94</u>

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Rio Magdalena	14
Gráfico 2: Relación de las capacidades de los equipos de transporte utilizados en los diferentes modos	27
Gráfico 3: Nomenclatura de Convoyes de Carga	29
Gráfico 4: Ubicación de los puertos principales en el mapa de Colombia	49
Gráfica 5: Comparación de Medias	68
Gráfico 6: Planteamiento del Diseño de Experimento	70
Gráfico 7: Gráfico de Pareto	76
Gráfico 8: Gráfica de Normalidad	77
Gráfico 9: Gráfico de Independencia	78
Gráfico 10: Gráfico de Homocedasticidad para el factor “Crossdocking”	78
Gráfico 11: Gráfico de Homocedasticidad para el factor “Convoy Libre”	79
Gráfica 12: Gráfico de Contorno	79
Gráfico 13: Gráfica de Superficie de Respuesta	80

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: Empresas de Transportes existentes en el Río Magdalena	20
Tabla 2: Dimensiones y Conformación Típicas de los Convoyes más grandes que operan actualmente en el Río Magdalena	28
Tabla 3: Movimiento Portuario Fluvial Por Cuenca Entradas y Salidas 2003	30
Tabla 4: Duración de la Simulación	53
Tabla 5: Factor de Ajuste	54
Tabla 6: Identificación de los Remolcadores	54
Tabla 7: Activación de los Remolcadores	55
Tabla 8: Capacidad de los Remolcadores (Toneladas y Barriles)	55
Tabla 9: Número de Botes Transportados por Remolcador	56
Tabla 10: Fracción de Carga Seca	56
Tabla 11: Fracción de Carga Líquida o Hidrocarburos	57
Tabla 12: Fracción de Carga	57
Tabla 13: Activación de la Extensión del Río	58
Tabla 14: Tiempos para la Extensión de Río	58
Tabla 15: Decisiones de Rutas	59
Tabla 16: Información Particular de cada Remolcador	60
Tabla 17: Activación del Convoy Libre en Cartagena	61
Tabla 18: Activación de CrossDocking	61
Tabla 19: Distancia del Crossdocking Móvil	62

Tabla 20: Sectores del Río por Remolcador	62
Tabla 21: Datos obtenidos para realizar la validación	65
Tabla 22: Análisis de Varianza	66
Tabla 23: Comparación de Medias	69
Tabla 24: Prueba Piloto para realizar la Comparación de los posibles Nodos para el Crossdocking Móvil	71
Tabla 25: Cálculo del Tamaño de Muestra para la Comparación de Nodos del Crossdocking	72
Tabla 26: Escogencia del Nodo	72
Tabla 27: Calculo del Tamaño de Muestra para el Diseño de Experimento	73
Tabla 28: Muestras obtenidas para realizar el Diseño de Experimentos	74
Tabla 29: Ingreso de Datos a STATGRAPHICS SOFTWARE	75
Tabla 30: Tabla ANOVA del Diseño de Experimento	76
Tabla 31: Maximización de las toneladas	81
Tabla 32: Cálculo Tamaño de Muestra	83
Tabla 33: Muestras para el Diseño de Experimento	83
Tabla 36: Muestras para evaluar la carga transportada	87
Tabla 37: Incremento de Barriles Transportados	87

1. TÍTULO DEL PROYECTO

El título del proyecto desarrollado es el siguiente:

**“MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN
DE OPERACIONES DE TRANSPORTE FLUVIAL”**

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

El transporte es una de las actividades de mayor importancia para el desarrollo económico, social y tecnológico de una región, ya que en la medida en que personas y mercancías se puedan movilizar libremente y en óptimas condiciones por un territorio, así mismo se promueve su desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. En Sur América el transporte fluvial aun no ha tomado la importancia que podría llegar a tomar a nivel externo e interno, solo pocos de los países Sur Americanos como Brasil, Argentina y Venezuela han podido desarrollar hidrovías navegables que contribuyan con el crecimiento económico de cada nación.

Sur América consta de un aparato fluvial bastante interesante que podría comunicar e integrar países de norte a sur por su diversidad de ríos y cuencas. Colombia hace parte de esta gran integración, ya que por ella atraviesan diferentes ríos. En especial el Río Magdalena (ver Gráfico 1) es uno o más bien el más importante de Colombia ya que a pesar de no estar conectado con el Orinoco o Amazonas, atraviesa Colombia de norte a sur, nace en la laguna de La Magdalena en el Páramo de las Papas (Macizo Colombiano) a 3685 m de altura, hasta su desembocadura en las Bocas de Ceniza en el Mar caribe. Se encuentra entre las cordilleras Central y Oriental, tiene una longitud total de

1558 Km, de los cuales sólo son navegables aproximadamente 1290 Km de ellos. El Río Magdalena es el río interandino con mayor longitud en Sur América, arroja al mar 8000 m³/seg, su cuenca mide 256.622 Km² de superficie y recibe agua de más de 500 afluentes y más de 5000 arroyos y quebradas.



Gráfico 1: Río Magdalena

http://www.mintransporte.gov.co/portal_servicios/proyecto_yuma/mapas/colombia.jpg

Se destaca Barranquilla como el primero de sus puertos y le siguen La Dorada, Puerto Berrío, Barrancabermeja, Puerto Wilches, Magangue, El Banco y Girardot, está conectado con el puerto marítimo de Cartagena por medio del Canal del Dique. A pesar de ser un recurso de transporte destacable en Colombia, sólo el 1.6% de la carga nacional se transporta por sus aguas, lo que significa una subutilización si se tiene en cuenta que los costos son en promedio seis veces menores que por cualquier otro medio de transporte.

Retomando el tema del transporte fluvial y relacionándolo directamente con Colombia el movimiento de flotas a través de él es muy poco (ver Anexo 1),

esto se debe a variables múltiples que intervienen en el desarrollo de esta actividad, como por ejemplo el tiempo en marcha de cada flota, los tiempos inactivos, las tasas de cargue y descargue en cada uno de los puertos, el nivel del río, el calado, el caudal, el número de empresas que están transportando carga o pasajeros, entre otras.

Muchas compañías de transporte fluvial en Colombia utilizan actualmente métodos manuales para planificación de sus operaciones, en lugar de técnicas de simulación y optimización que contribuyan con la mejora continua de sus operaciones fluviales o sirvan de apoyo para las decisiones futuras tanto de nivel operativo como financiero-económico en relación con sus necesidades.

Los problemas de planificación que generalmente se presentan en el ámbito de los sistemas de transporte provienen de cuestiones tan fundamentales como los pronósticos de demanda de transporte, aspectos estratégicos como decisiones sobre tamaño de las flotas vehiculares, problemas netamente operativos como la programación del transporte y el enrutamiento de vehículos o problemas que definitivamente se salen de las manos de las compañías como es la seguridad en ciertas zonas o sectores del río.

La simulación es una herramienta que se aplica a cualquier sistema productivo, en este caso servirá para simular la situación actual de las operaciones fluviales de carga del río y será base de la evaluación de diferentes escenarios que busquen la eficiencia y beneficio económico de las diferentes empresas del sector.

Actualmente se han desarrollado proyectos referentes al transporte en general, incluyendo el fluvial, como “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DEL CORREDOR SANTA MARTA-BARRANQUILLA” de Jackeline Puente y Silvana Mendoza, “EL TRANSPORTE DE CARGA EN EL BAJO Y MEDIO MAGDALENA”, de Gustavo Forero y Elsie T. Ritzel, y otros ya más específicos se desarrollaron en puertos, como “SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO PORTUARIO DE CARGA EN LA INTENDENCIA FLUVIAL DEL RIO MAGDALENA” de Luz Elena Arbelaez y Carlos Enrique Ramírez, sin embargo no se encontró proyectos que modelen las operaciones fluviales en el Río Magdalena.

2.2. Planteamiento del Problema

La implementación de modelos de soporte para las decisiones operativas fluviales implica la formulación y la solución de un conjunto de modelos de optimización bajo simulación que representen las operaciones de carga sobre el río magdalena, el manejo de los centros de transporte y la demanda de servicios que debe atender una empresa de carga fluvial por punto final de despacho y que permitan efectuar análisis de sensibilidad sobre las decisiones relacionadas con capacidad, transporte, decisiones de expansión, de localización, todo a un nivel táctico y operacional.

Por estas razones es fundamental para empresas cuyo funcionamiento depende de diversas variables que puedan contar con herramientas que le

permitan jugar con diferentes escenarios de operación para tomar una decisión acertada y que siempre sea para el mejoramiento continuo de los procesos y el aumento productivo de las empresas en general. Teniendo en cuenta que actualmente cuentan con un procedimiento de programación y planeación de operaciones manual y poco específico.

Las variables juegan un papel muy importante en el desarrollo de este proyecto, ya que estas le dan validez al problema, muchas de estas variables hacen que los recursos para la ejecución de las operaciones navieras no se estén utilizando al máximo, es decir están siendo subutilizados. Por ejemplo, normalmente se gasta un alto porcentaje de tiempo en espera para ser atendidos en puertos, o incluso cuando los remolcadores están en viaje se gasta gran tiempo del viaje en pernoctar o esperar y verificar que el sector por el cual se está transitando no es inseguro y se pueda continuar con el viaje.

Existen variables que a pesar de estar presentes y tener gran importancia en la navegación en específico, no se pueden controlar, una es el nivel del río. El nivel del río varía diariamente, de acuerdo con la época del año y los sectores por los cuales estén transitando los remolcadores. El nivel del río puede aumentar con las constantes lluvias o puede disminuir o ser afectado por fenómenos como el del “niño”. Sin embargo este tipo de variables se deben tener en cuenta para el desarrollo del modelo por su determinante participación en la eficiencia de las operaciones fluviales a través del Río Magdalena.

Por otra parte se quiere llegar a transportar otro tipo de carga, ya que casi el 93% de la carga de la empresa son hidrocarburos y se desea estudiar dicha posibilidad y que tipo de beneficios puede traerle a la empresa en cuestión.

Por medio de esta diversidad de datos se hará del modelo una herramienta útil para cualquier empresa que desee utilizarla y aprovechar sus múltiples resultados como soporte para posibles cambios en la programación de sus flotas e incluso de futuras inversiones operativas.

Este es un proyecto bastante dispendioso ya que existe un número bastante alto de consideraciones que hay que integrar y buscar la relación de unas con otras, sin embargo es un proyecto que al ser realizado aportará con el crecimiento o levantamiento del transporte fluvial de Colombia a grandes niveles.

2.3. Justificación del Problema

Al pasar los años las empresas tienden a seguir un parámetro plasmado desde sus orígenes, sin pensar en cambios que proporcionen a las organizaciones el mejoramiento constante y crecimiento productivo de estas mismas.

Actualmente son pocas las empresas que laboran en el río magdalena como transportadoras de carga y de pasajeros (ver Tabla 1), este tipo de transporte como fue mencionado anteriormente es uno de los menos costosos, por ende

el aprovechamiento del río aumentará con respecto a los años, y la competencia para las empresas que actualmente laboran en él será cada vez mayor. Por esta razón es indispensable que estas empiecen a preocuparse por modificar su sistema de operación llevándolos a ser siempre líderes en este sector. En la medida que aprovechen los recursos y no los subutilizen, estas crecerán cada vez más.

La necesidad de siempre estar a la vanguardia con respecto al servicio o producto ofrecido al cliente debería ser uno de los principales objetivos para cualquier empresa, en el caso especial de las empresas transportadoras fluviales no es la excepción. Como cualquier organización estas deben velar por la satisfacción de sus clientes y por mantenerlos dentro de su lista de clientes fijos. Esta es una tarea bastante difícil, ya que a diario los clientes reciben de la competencia propuestas tentadoras que le desvían la atención. Para evitar que un suceso como este ocurra las empresas deben presentar tiempos de entrega, de viaje, rutas, aseguramiento de la carga, entre otros competitivos en el sector. Para ello es necesario contar con herramientas tecnológicas que le permitan elaborar propuestas tentadoras tanto como para el cliente, como para la misma organización.

EMPRESAS DE TRANSPORTE EXISTENTES EN EL RIO MAGDALENA				
Empresas	No. De Remolcadores	Capacidad Remolcadora (Ton)	No. De Botes	Capacidad Transportadora (Ton)
Naviera Fluvial Colombiana	15	44508	82	65966
Transportes Gelves	6	19020	14	9932
Carbones del Caribe	5	17856	17	11606
Transportes Fluviales	6	17715	15	9892
Bernardo Monsalve	3	9113	10	6651
Agencia Rápida	2	6989	7	3582
Mármoles y Cementos de Nare	6	6793	10	3991
Troncal Ltda	3	4204	3	1879
Jairo Restrepo	1	4073	3	1445
Cosme Madariaga	1	3926	2	1033
Empresa de Vapores Julio	1	3711	6	3251
Alirio Quiroz	3	3217	3	575
Jaime Yepes	3	3247	6	2144
Cales y Cementos de Toluviejo	1	2806	3	5096
Cementos Caribe	1	2806	1	390
Gustavo Restrepo	2	2481	6	3115
Explotaciones Condor	1	1889	2	658
Rafael Santodomingo	1	1706		
Isabel Hurtado	2	1546	3	715
Gabriela Arboleda	1	1398		
Otros	-	-	46	21129
TOTAL	63	159006	236	153050

Tabla 1: Empresas de Transportes existentes en el Río Magdalena

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Desarrollar modelos de soporte para la toma de decisiones de las operaciones de transporte fluvial a través del Río Magdalena, el cual debe permitir facilitar en forma integrada y efectiva los recursos de transporte con el fin de presentar decisiones mejoradas de asignación de rutas y flota de remolcadores.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un **Modelo de Apoyo para la Toma de Decisiones (Decision Support Models, DSM)**, que sirva de soporte para entregar soluciones factibles de planificación y programación del transporte fluvial de carga.
- Validar la información recolectada por medio de análisis estadístico, permitiendo así llevar los modelos lo más cerca de la realidad posible.
- Desarrollar un procedimiento basado en el mejoramiento operativo mediante simulación para obtener soluciones mejoradas a partir de las soluciones factibles.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

4.1. Alcances

El alcance del proyecto estará limitado a la elaboración de modelos de soporte a la toma de decisiones que representen las operaciones fluviales a través del río Magdalena, esto incluye el análisis estadístico de datos necesarios para validar el modelo actual y futuros, la interacción de la herramienta Excel® y el simulador Arena®, por último el análisis de resultados arrojados por los modelos.

4.2. Limitaciones

Por la naturaleza del proyecto y su corto tiempo de ejecución, este presenta una limitante en la recolección de datos y modelación de las operaciones, sin embargo se puede programar y llevar a cabo siguiendo un cronograma pre-establecido.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco Teórico

5.1.1. Simulación

La simulación es una herramienta que consiste básicamente en describir paso a paso el comportamiento de un sistema y así poder sacar conclusiones que permitan tomar decisiones que mejoren el sistema en cuestión. Para ser mas específicos la simulación se basa en la “construcción de un modelo, típicamente implementado en un ordenador, que describe el comportamiento del sistema y que permite generar observaciones dadas ciertas entradas. Tales observaciones se analizan estadísticamente para estimar medidas del comportamiento del sistema de interés”¹.

Según los autores del libro “Simulación, Métodos y Aplicaciones”, los modelos de simulación no son iguales todos, estos dependen en gran manera si el estado es discreto o continuo, por otra parte si las observaciones que se hacen son dinámica o estáticas, como función continua o discreta del tiempo. Por ultimo las medidas de comportamiento también pueden diferir entre discretas de transición o estacionarias.

¹ RIOS I., David. RIOS I., Sixto. MARTIN, Jacinto. Simulación, Método Y Aplicaciones. Alfaomega, 2000, Pág. 9

Sin embargo a pesar de la gran variedad que se ha mencionado, todo modelo después de ser construido se adapta a un esquema simplificado de *Schmeiser*, según la explicación de David y Sixto Ríos Insua y Jacinto Martín, en su libro este esquema se basa en:

1. *“Obtener observaciones básicas de una fuente de números aleatorios.*
2. *Transformar las observaciones básicas en entradas al modelo, según las especificaciones del mismo.*
3. *Transformar las entradas, a través del modelo, en salidas.*
4. *Calcular estadísticas a partir de las salidas, para estimar las medidas de comportamiento”*²

Si bien se mira desde otra perspectiva la simulación es la “representación de un objeto, sistema o idea en otra forma que la que comúnmente se ve”³. Según el Sr. Shannon la función básica de un modelo es la de predecir y comparar los resultados que generen diferentes alternativas de acción.

Existen dos tipos de simulación, manual y por computador (simuladores), esta última es la que mas se utiliza actualmente. La simulación tiene múltiples ventajas y desventajas. Entre ellas esta que la simulación no resuelve problemas, sino que corre modelos, es decir que simula un proceso con sus entradas y salidas, arroja resultados y con base en ellos, el investigador analiza los resultados, por lo que es incapaz de generar soluciones por si misma. Es

² RIOS I., David. RIOS I., Sixto. MARTIN, Jacinto. Op.cit., Pág. 10.

³ SHANNON E., Robert. System Simulation, The Art And Science. Prentice Hall, 1975, Pág. 5.

capaz únicamente de arrojar resultados de un sistema, bajo condiciones específicas introducidas por el investigador. Por otra parte la simulación no es una teoría sino mas bien una metodología que sirve de apoyo para resolver problemas. Sin embargo la simulación sirve como un método experimental de sistemas que necesitan ser cambiados pero su cambio requiere de un tiempo extenso y altos costos.

5.1.2. Transporte fluvial

En algunos países aprovechan las vías navegables interiores para transportar productos. Buena parte de esos productos se transportan embalados, en cajas, sacos, barriles, contenedores, tanques, sueltos, entre otros.

De acuerdo con las características esenciales de la navegación fluvial, la que generalmente sobresale, es que este tipo de transporte es ideal para trasladar cargas pesadas de bajo precio, en especial graneles sólidos y líquidos; productos de gran volumen con relación a su valor y que no exigen por su naturaleza un transporte a corto plazo; teniendo en cuenta que el ritmo del transporte fluvial es lento.

Continuando con las características relevantes dentro del transporte fluvial se encuentran:

- La existencia de zonas industriales desarrolladas a lo largo del río.

- La existencia de un puerto importante en la desembocadura del río o cerca de ella.
- Costos competitivos de la tonelada por km para determinados productos o carga a transportar.
- Adecuadas conexiones con el modo terrestre (ferroviario y automotor) y con el modo marítimo, para implementar operativamente el transporte multimodal.
- Es muy poco contaminante del medio ambiente en lo referente a la emisión de gases, con casi nulo impacto por polución de ruidos o accidentes.

Las principales vías navegables fluviales son: el Zaire (África), el Nilo (Egipto), el Río de la Plata (Argentina y Uruguay), el Murray (Australia), los ríos malasios y vietnamitas y los ríos chinos y siberianos (Rusia). Y como sistemas de transporte fluvial se destacan el sistema de transporte del río Mississippi y los sistemas de transporte de los ríos Tennessee y San Lorenzo, los cuales conectan Estados Unidos con Canadá.

Colombia cuenta con un aparato fluvial, como se ha mencionado anteriormente bastante interesante, a pesar de que no este entre los principales del mundo. Su localización geográfica, permite y permitiría la conexión entre casi todo el país, ya que este lo atraviesa casi de norte a sur.

La comparación de cargas transportadas en un solo viaje con los diferentes modos de transporte terrestre es bastante interesante, ya que a pesar de que el transporte no es rápido en un viaje traslada mucha más carga que cualquier tractocamión o vagones de ferrocarril. En Colombia estas son las dimensiones aproximadas de comparación (ver Gráfico 2):

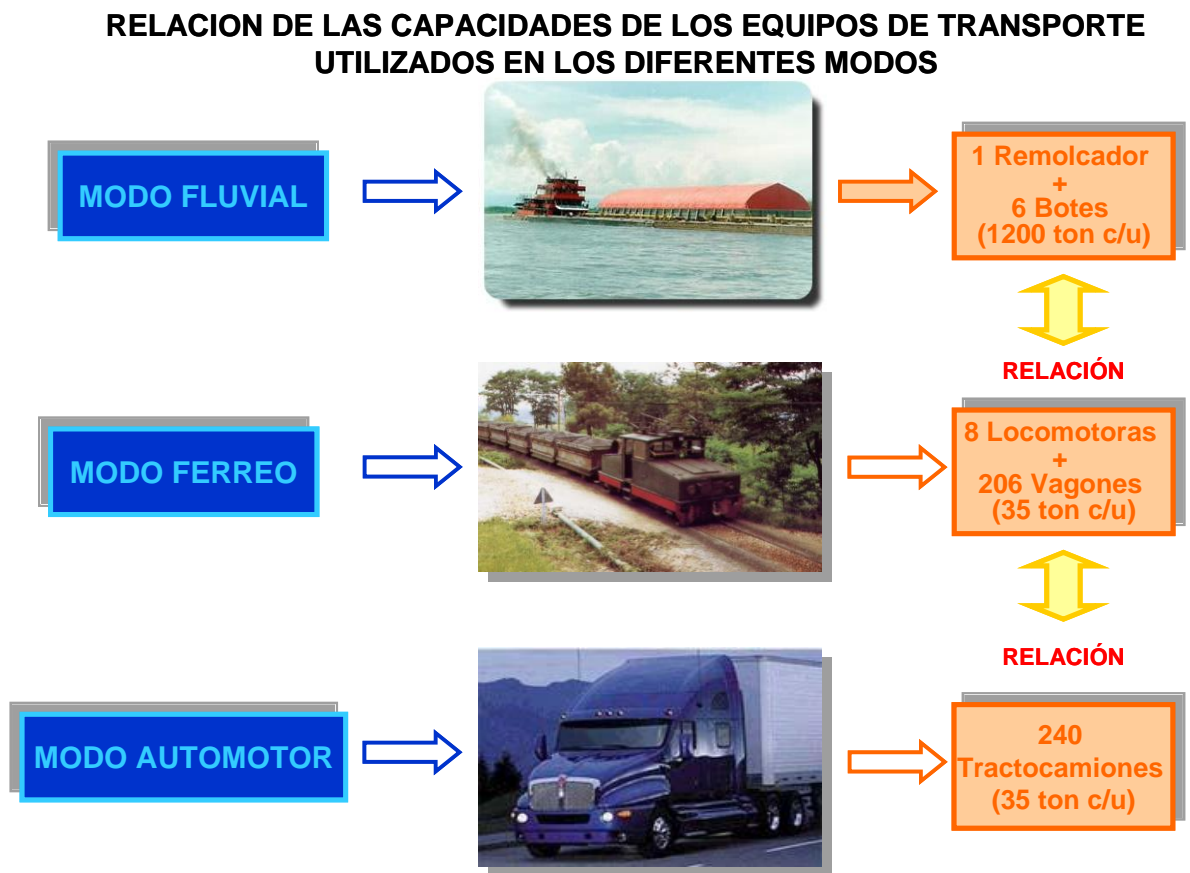


Gráfico 2: Relación de las capacidades de los equipos de transporte utilizados en los diferentes modos

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf

Con respecto a estos datos podemos inferir que si bien, el transporte terrestre es mas rápido que el fluvial, para aquellas empresas que tengan como objetivo transportar mayor cantidad de producto sin importar el tiempo de transporte, el transporte fluvial es la mejor elección.

El tipo de embarcaciones que normalmente se usan en Colombia para transportar carga son los convoy que son el conjunto entre remolcador y botes. Las dimensiones típicas de casi todos los remolcadores son de 2 metros de calado, entre 4 y 10 metros de manga y 22 a 34 metros de eslora, y los botes tienen dimensiones de 10 a 13 metros de manga y de 45 a 60 metros de eslora. Esto se encuentra más específico en la siguiente tabla (ver Tabla 2):

DIMENSIONES Y CONFORMACIÓN TÍPICAS DE LOS CONVOYES MÁS GRANDES QUE OPERAN ACTUALMENTE EN EL RÍO MAGDALENA

Dimensiones Convoy		Dorada - Berrio (*)	Berrio - B/meja (*)	B/meja - Costa Norte	Tamalameque - Costa Norte
Remolcador	Eslora (m)	22	32	36	34
	Manga (m)	4.8	6.3	11	10
	Potencia (H.P)	800	1440	2100	1920
Barcaza	Eslora (m)	45	53	60	60
	Manga (m)	10.5	11.2	12.7	15
Longitud Total (m)	Contra Corriente	112	138	216	254
	Con la Corriente	67	138	156	144
Ancho Total (m)	Contra Corriente	10.5	22.5	25.4	25
	Con la Corriente	21	22.5	38.1	39
Capacidad Transportadora (Ton)	Contra Corriente	750	2650	5500	6000
	Con la Corriente	-	-	6600	7200
Composición Típica	Contra Corriente	R - B - B	R - 2B - 2B	R - 2B - 2B - 2B	R - 2B - 2B - 2B
	Con la Corriente	R - 2B	R - 2B - 2B	R - 3B - 3B	R - 3B - 3B

Tabla 2: Dimensiones y Conformación Típicas de los Convoyes más grandes que operan actualmente en el Río Magdalena

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf

La configuración y ubicación de los botes con los remolcadores dependen de la estrategia que se decida utilizar para bajar o subir el río, ya que estas dependen de la dirección del río y la velocidad que llevan los convoyes.

La nomenclatura que estos reciben es de acuerdo a la ubicación y número de botes que arman el convoy. Para mayor detalle ver (Gráfico 3).

NOMENCLATURA DE CONVOYES DE CARGA

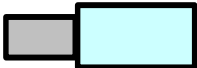
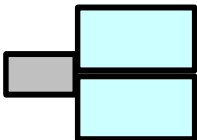

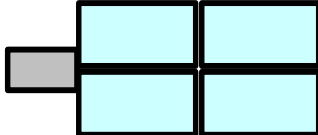
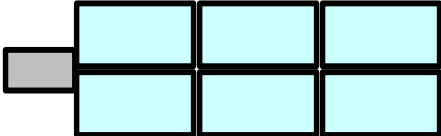
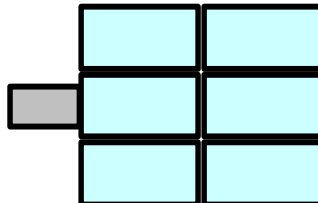
Configuración	Nombre	Forma de Convoy
Remolcador + Una Barcaza	R - B	
Remolcador + Dos Barcazas en paralelo (pacha)	R - 2B	
Remolcador + Dos Barcazas en serie (puya)	R - B - B	
Remolcador + Cuatro Barcazas en dos hileras de a dos	R - 2B - 2B	
Remolcador + Seis Barcazas en tres hileras de a dos	R - 2B - 2B - 2B	
Remolcador + Seis Barcazas en dos hileras de a tres	R - 3B - 3B	

Gráfico 3: Nomenclatura de Convojes de Carga

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf

Por otra parte para referirse a la carga que entra y sale en el transporte fluvial se cita la siguiente tabla (ver Tabla 3). Donde nos indican los tres tipos de carga principales, que son Hidrocarburos y carga general.

MOVIMIENTO PORTUARIO FLUVIAL POR CUENCA ENTRADAS Y SALIDAS 2003

CUENCA	PRODUCTO	TOTALES		TOTAL
		ENTRADA	SALIDA	
CUENCA MAGDALENA	Carga General	885.601	845.813	1.731.414
	Hidrocarburos	1.358.395	1.280.040	2.638.435
	TOTAL CUENCA	2.243.996	2.125.853	4.369.849
CUENCA ORINOQUIA	Carga General	41.902	17.294	59.196
	Hidrocarburos	16.750	1.681	18.431
	TOTAL CUENCA	58.652	18.975	77.627
CUENCA AMAZONIA	Carga General	23.658	10.968	34.626
	Hidrocarburos	12.496	7.032	19.528
	TOTAL CUENCA	36.154	18.000	54.154
CUENCA ATRATO	Carga General	281.890	2.631.563	2.913.453
	Hidrocarburos	2.021	2.655	4.676
	TOTAL CUENCA	283.911	2.634.218	2.918.129
TOTAL CUENCAS	Carga General	1.233.051	3.505.638	4.738.689
	Hidrocarburos	1.389.662	1.291.408	2.681.070
	TOTAL CUENCA	2.622.713	4.797.046	7.419.759

FUENTE: SUBDIRECCION DE TRANSPORTE-INSPECCIONES FLUVIALES

Tabla 3: Movimiento Portuario Fluvial Por Cuenca Entradas y Salidas 2003

http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf.

De la anterior tabla se puede inferir que el porcentaje mayor de entradas y salidas de carga se transportan por el Río Magdalena, este es de un 58.89%, el cual es bastante alto y significativo para el movimiento fluvial colombiano.

5.2. Marco Conceptual

5.2.1. Conceptos relacionados con la navegación fluvial

Calado

“Distancia que hay desde la superficie del agua o Inca de flotación, al borde inferior de la quilla. Profundidad”⁴.

Nivel de río

El nivel de Río es un concepto bastante importante para todas aquellas empresas transportadoras fluvial, ya que depende de este la cantidad de mercancía que carga cada remolcador para ser llevada a su destino final. Específicamente el nivel de río es la profundidad que va desde la superficie del agua, hasta el fondo del río. Este varia de acuerdo a las épocas del año, normalmente por las lluvias, crece el nivel, debido a que aumenta la cantidad de agua y en épocas de sequía, disminuye obligando así a las compañías transportadoras cargar menos mercancía, ya que el calado disminuye.

Sectores NO transitables de noche

Existen sectores en el río que en horas nocturnas, por su complejidad geográfica representan un peligro para las embarcaciones, obligando a estas a pernoctar al llegar a esas zonas.

⁴ Tomado de la Pagina Web:

<http://www.fundaciondoctordepando.com/GLOSARIOS%20y%20VOCABULARIOS/Ciencias%20N%E1uticas-1-N%C1UTICA-T%E9rminos.htm>

Caudal

Cantidad de agua de una corriente, este es importante debido a que afecta la velocidad de los remolcadores cuando estos van río arriba y cuando vienen río abajo obligan a establecer estrategias que frenen la embarcación.

5.2.2. Conceptos relacionados con el Transporte Fluvial

Transporte fluvial

Es un medio de transporte tanto de carga como de pasajeros, que se realiza a través de un aparato hidrológico. En este caso el transporte fluvial Colombiano esta siendo subutilizado, sin embargo es un recurso que llegase a disminuir en gran manera los costos logísticos de cualquier empresa, como los tiquetes de transporte de pasajero.

Puertos

Lugar a la orilla del río donde las embarcaciones pueden detenerse y permanecer seguras, que dispone de instalaciones para hacer reparaciones (astilleros) o realizar operaciones de embarque y/o desembarque, cargue y/o descargue.

Astillero

Instalación destinada a la construcción y reparación de remolcadores.

Tiempos

Son todos aquellos tiempos que cada remolcador emplea desde que empieza a cargar, viaja y descarga. Entre estos tiempos se encuentran los inactivos o perdidos, como lo son pernoctar, espera por mal río o mal tiempo, inseguridad, espera de escolta, entre otros.

Remolcadores

“Embarcación de construcción fuerte, utilizada para mover a otras embarcaciones o buques”⁵, en este caso botes.

Botes o Barcazas

Es la embarcación donde se coloca o se carga la mercancía. Estos no tienen motor y son jalados o empujados por un remolcador.

⁵ Tomado de la Pagina Web:

<http://www.fundaciondoctordepando.com/GLOSARIOS%20y%20VOCABULARIOS/Ciencias%20N%E1uticas-1-N%C1UTICA-T%E9rminos.htm>

Convoy

Es la unión de un remolcador y varios botes, dependiendo del rumbo del remolcador, los botes se colocan horizontal o verticalmente, esto con el fin de disminuir la velocidad si es de bajada o aumentar la facilidad de transporte si es el caso contrario, río arriba.

5.2.3. Conceptos relacionados con la Carga

Carga seca

Son todas aquellas cargas que no son hidrocarburos o combustóleo. Los contenedores, granos, rieles, nafta virgen, entre otros.

Hidrocarburos

“Compuestos orgánicos formados únicamente por carbono e hidrógeno”⁶. Este término generalmente es usado para llamar al petróleo y sus derivados.

⁶ Tomado de la Pagina Web: <http://www.uc.cl/quimica/agua/glos2.htm>

Combustoleo

Es también conocido como fuel oil, es un combustible elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo crudo.

5.2.4. Conceptos relacionados con el Modelo de Simulación

Sistema

Existen múltiples definiciones de sistema, unos la definen como “Un conjunto de elementos que se encuentran en interacción y que buscan alguna meta o metas comunes”⁷, otros la definen como “la parte del mundo real por la que mostramos interés. Consideramos ese segmento de realidad como un conjunto de elementos o componentes que interaccionan para alcanzar una meta común”⁸.

Existen diferentes tipos o clases de sistemas, según los autores de “Simulación de Sistemas Productivos con ARENA[®]”, hay siete tipos:

⁷ FABREGAS A, Aldo. WADNIPAR R., Rodrigo. PATERNINA A., Carlos. MANCILLA H., Alfonso. Simulación De Sistemas Productivos Con Arena ®. Barranquilla: 1era. Edición, Ediciones Uninorte, 2003 Pág. 5.

⁸ RIOS I., David. RIOS I., Sixto. MARTIN, Jacinto. Op.cit., Pag. 102

- Naturales y Artificiales:

Los sistemas naturales son aquellos sistemas que están presentes en la naturaleza como su palabra lo indica, no son creados por el hombre. Como por ejemplo el sistema solar. Por otro lado los sistemas artificiales son aquellos que son creados por el hombre para satisfacer sus necesidades.

- Determinísticos y Probabilísticas

Los sistemas determinísticos son aquellos "que pueden ser determinados, de antemano. En ellos cada inter-relación entre las diversas partes del sistema, puede ser prescrita e incluso podemos prever que el sistema continúe su funcionamiento y no se disgregue. Se puede conocer cómo van a comportarse ante cualquier influencia del medio y en cualquier momento"⁹.

Los sistemas probabilísticos por el contrario de los sistemas determinísticos no pueden ser determinados, por lo que no se puede tener certeza de cómo será su comportamiento.

- Sociales, Hombre-Máquina y Mecánicos

Los sistemas sociales son los que intervienen personas directamente, los Hombre-Maquina, son los que intervienen las maquinas y los individuos en

⁹ Tomado de la Pagina Web: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpylpIIIAlZpGbNZel.php>

conjunto, por ultimo en esta categoría están los mecánicos que son capaces de mover el sistema, son autosuficientes, ellos mismos son capaces de obtener sus entradas y sacar sus salidas, valga la redundancia.

- Abiertos y Cerrados

El sistema abierto o no aislado es “aquel que interactúa con su medio ambiente. Todos los sistemas que contienen organismos vivos son abiertos, porque en ellos influye lo que es percibido por los organismos. Un sistema de mercadotecnia o un sistema financiero de una empresa son sistemas abiertos pues ellos están interactuando con un medio ambiente.”¹⁰

Por el contrario el sistema cerrado o aislado es aquel que no cambia, este es muy difícil de conseguir.

- Permanentes y Temporales

Los sistemas permanentes son aquellos que duran mas que las operaciones que en ellos realiza el hombre, un ejemplo claro es el que ilustran en la página Web: (http://150.185.66.1/docs/Contenidos/ONieto/Sistemainformacion/unidad-I_T3_obj_04_01_01.htm), el sistema permanente pueden ser las políticas de una empresa con respecto a las operaciones anuales que ella realiza.

¹⁰ Tomado de la Pagina Web: http://150.185.66.1/docs/Contenidos/ONieto/Sistemainformacion/unidad-I_T3_obj_04_01_01.htm

Los sistemas temporales son aquellos que actúan por cierto tiempo y luego desaparecen.

- Estables y No Estables

Los sistemas estables son aquellos en los cuales sus características o variables no cambian de gran manera que pueda afectar el sistema en general.

Lo contrario, los sistemas no estables son los que cambian constantemente y por lo general producen fallas en los procesos.

- Adaptativos y No Adaptativos

El sistema adaptativo es aquel que reacciona con el ambiente, de manera tal que logra mejorar su funcionamiento, es decir se adapta a los cambios ambientales.

Por ultimo los sistemas no adaptativos, por lo general no tienen posibilidades de permanecer vivos, ya que no se adaptan a los cambios.

Entidades

Las entidades en simulación son el objeto, persona o cosa que ingresa a un sistema, es transformado dependiendo de las variables de este mismo en salidas.

Recursos

Según el libro “Simulación de Sistemas Productivos con ARENA®”, Ediciones Uninorte, el recurso es un elemento estacionario que es ocupado por las entidades que entran en el sistema, estos representan actividades que influyen en el flujo de estas mismas.

“Los recursos tienen una capacidad finita; así mismo cuentan con una serie de estados por los cuales atraviesan a lo largo de la simulación, ejemplo, ocupado, ocioso, inactivo o dañado. Un recurso puede ser una persona (cajero), una maquina (torno) o, incluso, un espacio en áreas de almacenamiento (zona de carga)”¹¹

Tiene funciones claves en la simulación del modelo, una vez esté el recurso desocupado y una entidad necesita de su servicio, esta se apodera del recurso, si no se encuentra disponible simplemente la entidad entra en fila de espera. Luego de atender la solicitud de la entidad este la libera para darle entrada a otra.

¹¹ FABREGAS A, Aldo. WADNIPAR R., Rodrigo. PATERNINA A., Carlos. MANCILLA H., Alfonso.Op.cit., Pág. 5.

Atributos

Los atributos son características únicas y propias de cada entidad. Según el libro “Simulación de Sistemas Productivos con ARENA ®”, las entidades pueden tener la cantidad de atributos que necesiten para realizar el modelamiento del sistema en especial. Los atributos pueden ser peso, color, identificación numérica, entre otras.

Estos atributos pueden ser representados no solo por un valor constante, sino también por una distribución. Por ejemplo normal, lognormal, weibull, entre otras.

Variables

Las variables juegan un papel más global dentro del sistema, ya que representan las características propias del sistema en general. Estas son definidas con un nombre específico para todo el sistema, y “un número que indica un estado del sistema.”¹²

Modelo

Los modelos específicamente son representaciones de la realidad, cuyo propósito es estudiar el sistema real o actual. Los modelos se pueden clasificar

¹² FABREGAS A, Aldo. WADNIPAR R., Rodrigo. PATERNINA A., Carlos. MANCILLA H., Alfonso. Op.cit., Pág. 6.

en: modelos icónicos, analógicos, simbólicos (estos se subdividen en modelos determinísticos, estocásticos, dinámicos, estáticos, continuos y discretos).

Los modelos tienen características especiales como lo son mencionadas en el libro “Simulación de Sistemas Productivos con ARENA®”:

- Confiabilidad
- Sencillez
- Bajo costo de desarrollo y operación
- Manejabilidad
- Fácil entendimiento del modelo y de los resultados
- La relación costo-beneficio debe ser positiva

Evento

“Es la ocurrencia que cambia el estado del sistema. Hay eventos internos y externos; estos se conocen también como endógenos y exógenos, respectivamente.”¹³

Secuencia

Son los diferentes ciclos que siguen las embarcaciones entre los diferentes puertos de orígenes y destinos.

¹³ FABREGAS A, Aldo. WADNIPAR R., Rodrigo. PATERNINA A., Carlos. MANCILLA H., Alfonso.Op.cit., Pág. 7.

Estaciones

Representan los diferentes puertos a los que llegan los remolcadores a cargar, descargar y/o reparar.

5.2.5. Conceptos relacionados con Visual Basic

Visual Basic ha sido una herramienta que a través del tiempo ha sido catalogada por Bill Gates como “la herramienta más potente y sencilla para el desarrollo de aplicaciones Windows en Basic”¹⁴. Visual Basic ha ido evolucionando, desde su primera aparición han salido 4 versiones más, que han mejorado su utilización y potencia para sus usuarios.

Para profundizar un poco, Visual Basic es un lenguaje simple, que se centra en un motor de formularios poderosos que facilita el rápido desarrollo de las aplicaciones gráficas. Esta basado en estructuras de programación modernas, contiene varias bibliotecas que permiten el manejo de bases de datos. Se utiliza principalmente para aquellas gestiones de empresas sencillas, que necesiten de un programador para sus operaciones.

VENTAJAS:

- Es un lenguaje simple y fácil de aprender.

¹⁴ CORNELL, Gary. Manual De Visual Basic 5. McGraw-Hill, Primera Edición, 1997, Pág. xxi

- Su facilidad radica más que todo en el dibujo de formularios mediante el arrastre de controles.
- La sintaxis del programa es comprensible y semejante al lenguaje humano.
- Es un lenguaje RAD, el cual se centra en arrojar los resultados en un menor tiempo. Esto con lleva a que su mayor uso es en aplicaciones pequeñas de gestión.
- Permite el tratamiento de mensajes de Windows.
- Contiene una gama grande de controles que permiten el ahorro de tiempo en el desarrollo.
- Permite crea controles personalizados.
- Genera librerías (conjunto de procedimientos y funciones agrupadas en un archivo) dinámicas (DLL).

DESVENTAJAS:

- Solo genera ejecutables para Windows.
- La sintaxis a pesar de ser un poco amigable, es inflexible.
- No es adecuado para aplicaciones grandes, como multimedias, videojuegos, editores gráficos, entre otros.
- No permite características de programación avanzada.
- Sólo permite el uso de funciones de librerías dinámicas (DLL) stdcall.

- No permite el manejo de memoria dinámica, punteros (variable manipulable que indica una región de memoria), arrays, entre otros, como parte del lenguaje.
- No avisa ciertos tipos de errores, como la conversión de tipos inadecuados.
- El tratamiento de Windows es básico e indirecto.

5.3. Marco Espacial

5.3.1. Río Magdalena

Esta investigación se realizará exclusivamente para las operaciones fluviales a través del Río Magdalena, el cual nace en La Laguna del Magdalena en el Páramo de las Papas (Macizo Colombiano) a 3685 m. de altura y desemboca en las Bocas de Ceniza en el Mar Caribe. Como ha sido mencionado anteriormente este es el aparato hidrológico más importante de Colombia, ya que atraviesa gran parte del territorio Colombiano, su longitud aproximadamente es de 1558 Km. de los cuales son navegables 1290 Km. Es el río Interandino con mayor extensión en Suramérica, aproximadamente arroja al mar 8000 m³/seg., recibe aguas de cerca de 500 afluentes y más de 5000 arroyos y quebradas.

Los puertos específicos que entrarán como estaciones de origen y destino para el cargue, descargue y mantenimiento en los modelos, serán los puertos de Cartagena, Barrancabermeja y Barranquilla como astillero principalmente.

6. PREDICCIÓN DE RESULTADOS, HIPÓTESIS

Los modelos de soporte para la planeación y programación de operaciones de transporte fluvial por medio de simulación mostrarán escenarios eficientes y mejorados permitiendo así optimizar los recorridos, planificación de ruta y los tiempos que estos implican. Los resultados arrojados por la simulación permitirán que compañías dedicadas a este sector de transporte en un futuro puedan tomar decisiones que mejorarán continuamente sus operaciones navieras. El indicador que contribuirá con el análisis fino de los resultados es el siguiente:

- Carga transportada, su unidad será (Barriles transportados), este indicador permitirá verificar si la carga transportada por viaje aumenta, con la mejora de los modelos. Se estima que aumentará en un 5%.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. Tipo de Estudio

En el proyecto de investigación que se está realizando se deberán definir diferentes variables (nivel de río, tiempos en marcha, tiempos inactivos y tipo de carga) que se interrelacionan unas con otras, cada una de ellas intervienen en el comportamiento actual de las operaciones fluviales, estas afectan la carga que se transporta en un viaje y por ende la programación de entregas a los 3 posibles destinos (Barrancabermeja de subida y Cartagena o Barranquilla de bajada).

Se identificarán y comprobarán cuales son las variables que impiden un mejor desempeño de la empresa y se plantearán modelos que mejoren la eficiencia en la programación y planeación de las operaciones. Dado este el caso el tipo de estudio que se va a realizar será descriptivo y explicativo.

7.2. Método de Investigación

El método de investigación que cobija el proyecto es el de análisis-síntesis, ya que inicialmente se identificarán las variables y se creará una visión panorámica de la situación actual de las operaciones fluviales y luego se

interrelacionarán las partes que comprenden el modelo, para finalmente analizar y estudiar los resultados.

7.3. Fuentes y Técnicas

La fuente directa y primaria que proporcionará la información (datos históricos) necesaria para realizar el proyecto será una empresa transportadora fluvial. También se utilizarán fuentes secundarias que le suministren al investigador información necesaria para cubrir los temas claves de la investigación, como lo son transporte fluvial, simulación, Visual Basic (Programador- Macros), entre otros.

Las técnicas que se utilizarán para conseguir la información será la observación, entrevistas, Internet e investigación bibliográfica (textos, documentos, revistas, papers, entre otros).

7.4. Tratamiento de la Información

La información de datos históricos será entregada en forma tabulada en formatos de Excel[®], sin embargo el investigador deberá re acomodarla, para realizarle el análisis estadístico pertinente y luego ingresarlo a una planilla de datos de entrada para la simulación. Esto será con la ayuda de la herramienta Excel[®] y Statgraphics[®].

8. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE FLUVIAL

Como se mencionó anteriormente este proyecto fue desarrollado en una empresa Naviera Fluvial de Carga que opera a través del Río Magdalena. Básicamente las operaciones se desarrollan entre dos puntos principales de origen y destino, Cartagena como puerto de origen y Barrancabermeja como puerto de destino, y Barranquilla como astillero principal de las embarcaciones. (Ver Gráfico 4):

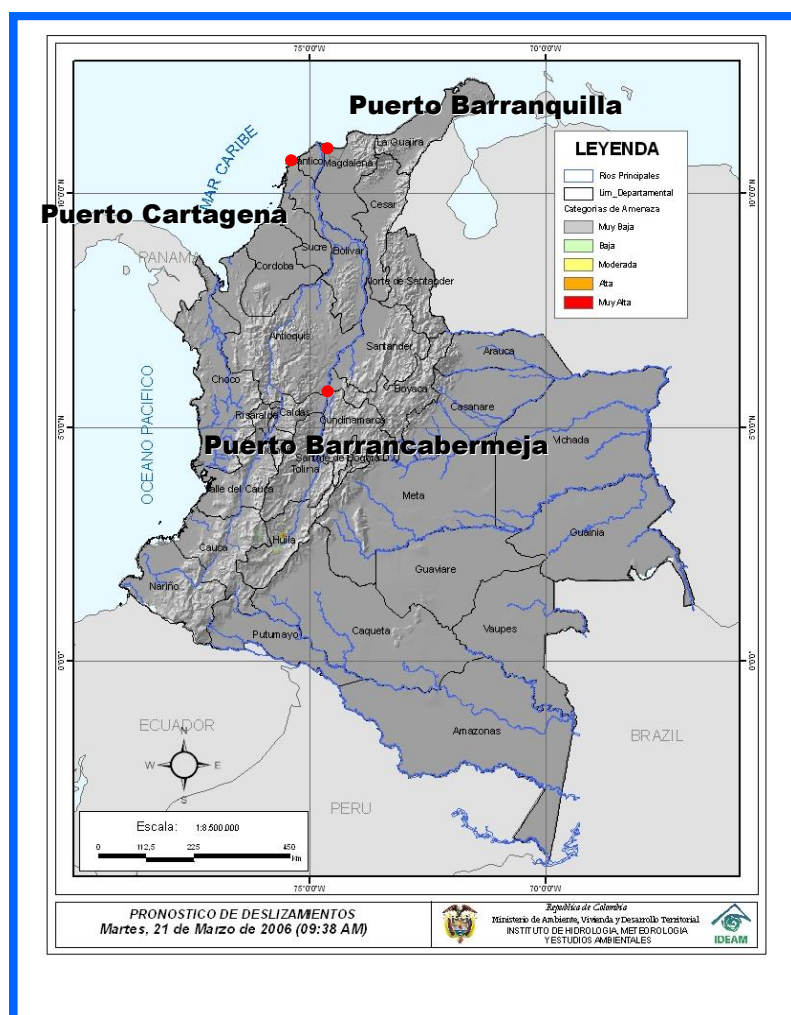


Gráfico 4: Ubicación de los puertos principales en el mapa de Colombia

El proceso inicia cuando se carga la mercancía que se subirá hasta Barrancabermeja, que por lo general, es carga seca o contenedores. Una vez es transportada por el río teniendo en cuenta los diferentes factores que intervienen en la navegación se descarga en Barrancabermeja y se procede a cargar nuevamente, en este caso el producto principal es el combustóleo e hidrocarburo.

El modelo simula las operaciones con un máximo de 22 remolcadores con una capacidad máxima de transportar 12 botes con carga, dependiendo de ésta misma.

Existen infinitas variables que influyeron para la construcción del modelo genérico de las operaciones navieras, sin embargo, existen 3 puntos relevantes dentro de éste. El Tiempo, este fue necesario para darle validez al modelo y ajustarlo a la realidad, es decir determinar todos los tiempos que se gasta cada embarcación desde que es cargada, viaja y luego se descarga, entre ellos se encuentran los tiempos comunes como los en Marcha, Pernoctando, Fraccionando, Tiempo perdido por un mal tiempo o por seguridad del sector, los de cargue y descargue, entre otros. Cada tiempo recibió un tratamiento estadístico (Prueba de Bondad de Ajuste) para encontrar a que distribución se ajustaba cada dato y poder ingresar la distribución al modelo. Ese análisis fue desarrollado anteriormente con un grupo de estudiante como proyecto de Investigación y Desarrollo. (Ver anexo 2-4), en estos anexos se puede

encontrar todo el proceso que se realizó para ver a que distribución se ajustaba cada tiempo por cada tramo por cada remolcador de la flota.

Otro ítem que requirió de análisis fue el Nivel de Río, este se entiende por la distancia entre el fondo del río y su superficie, es un concepto clave para las empresas de transporte fluvial dado que con base en él se determina la carga que se puede transportar en cada época del año. Este fue tratado por medio del método de Series y Tiempo Random Walk, ya que fue el método al cual se ajustaron mejor los datos históricos. Por medio de este estudio se hallaron pronósticos con los cuales se puede realizar corridas de períodos futuros. Al igual que el análisis estadístico de los tiempos, el análisis del Nivel de Río fue desarrollado dentro del proyecto **Universidad-Empresa**, en conjunto con unos estudiantes para ser posteriormente presentado como proyecto de Investigación y Desarrollo.

Por último está la Flota, o embarcaciones operativas de transporte (Convoy = Remolcador + Botes). Se necesita verificar la capacidad de cada uno de los remolcadores y los botes puesto que esta es constante, para luego analizarla y contrastarla con el tipo de producto que se va a transportar, teniendo en cuenta la dirección del remolcador, es decir si se está subiendo o bajando carga a través del río.

9. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para desarrollar el modelo de soporte para la toma de decisiones de transporte fluvial se utilizó la herramienta ARENA[®], de Rockwell Software. Los datos de entrada se ingresan por medio de un archivo de entrada en Excel[®], los cuales a través de Visual Basic se almacenan en matrices creadas en ARENA[®], para correr los escenarios. Una vez finalizada la corrida los resultados de los viajes de cada remolcador son arrojados de la misma manera, por medio de Visual Basic a un archivo de salida en Excel[®], ver Anexos del Modelo (5-13).

9.1. Información de Entrada

9.1.1. Escenario 1: Situación Actual

El modelo consta de tres escenarios, el primero de ellos muestra o simula la situación actual de las operaciones, es decir sus viajes a través del río y sus cargues/descargues en los puertos principales, arrojando como resultado los viajes que se hacen y la carga que se transporta durante un período estimado por cada remolcador.

El proceso inicia ingresando todos los datos de entrada en el Archivo de Excel “Entrada”. En la primera hoja de cálculo se encuentra la información general de la simulación.

Primero se ingresa la duración de la corrida, es decir el período (Fecha de inicio y fecha de terminación, estas fechas van desde el primero de Enero del 2000 hasta el 31 de Diciembre del 2006) ó el número de horas con las cuales se desea correr la simulación, sin embargo se debe tener en cuenta que la casilla de duración tiene prioridad antes que la de fechas, es decir una vez se ingresa un número de horas, el modelo guarda esta información y no tiene en cuenta la que indica fechas de inicio y finalización de la corrida. La siguiente tabla muestra de que forma se pueden ingresar los datos (ver tabla 4):

Duración (Hrs)	Fecha Inicial			Fecha Final		
	D	M	A	D	M	A
				01/01/00		
				02/01/00		
				03/01/00		
				04/01/00		
				05/01/00		
				06/01/00		
				07/01/00		
				08/01/00		

Tabla 4: Duración de la Simulación

Después de determinar el tiempo de simulación se procede a escoger el factor de ajuste que se utilizará, este, a efecto de cambios negativos en el transporte de carga en Colombia, los datos históricos tendían a sesgarse al momento de aproximar la simulación a la realidad, lo que llevo a realizarse una inferencia estadística que ajustara los datos a las condiciones actuales. Este factor de ajuste se mueve en un rango de 0 a 2, donde 0 representa condiciones climatológicas fuertes y complicadas para la navegación y el 2 por el contrario presenta un escenario mejorado para esta misma. Este factor se ingresa en la siguiente tabla (ver tabla 5):

Factor Ajuste

2004
Acum
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05

Tabla 5: Factor de Ajuste

Después de determinar el factor de ajuste se determinan los remolcadores que participaran de la corrida. En la primera casilla se coloca el nombre de los remolcadores, estos como se mencionó anteriormente son en total 22 remolcadores. Al lado se coloca el Id, que representa la identificación de cada remolcador, este Id es el que internamente Arena usa para guardar la información tomada de Excel de cada remolcador. (Ver tabla 6):

[illegible]

Tabla 6: Identificación de los Remolcadores

Privación de los R

Capacidad de los Remolcadores (Tonela

Le Botes Transporta

Tabla 10: Fracción de Carga

La siguiente tabla pertenece a la Fracción de Carga Líquida o hidrocarburos que será transportada de acuerdo con la capacidad en toneladas, al igual que la anterior se mueve en un rango de 0 a 1. Esta depende de dos factores, si esta subiendo o bajando el remolcador y a su vez si es carga negra o blanca (combustoleo o hidrocarburo, respectivamente). (Ver tabla 11):

Fracción Hidrocarburos			
Subiendo		Bajando	
Negro	Blanco	Negro	Blanco
0.07	0.93	0.66	0.34
0.08	0.92	0.17	0.83
0.09	0.82	0.82	0.18
0.10	1.00	0.29	0.71
0.11	0.80	0.75	0.25
0.12	0.80	0.75	0.25
0.13	0.18	1.00	0.00
0.14	0.79	0.70	0.30
0.15	0.80	0.82	0.18
0.20			

Tabla 11: Fracción de Carga Líquida o Hidrocarburos

Posteriormente, se encuentra la casilla que determina la fracción de carga que hace referencia a la fracción de la capacidad del remolcador en un viaje de subida y de bajada independientemente del tipo de carga que lleve cada remolcador. Esta fracción va desde 0 a 1, (ver tabla 12).

Fraccion Carga	
Subiendo	Bajando
0,06	
	0,00
	0,01
	0,02
	0,03
	0,04
	0,05
	0,06
0,05	0,07

Tabla 12: Fracción de Carga

Por último en esta hoja se encuentra la opción de alargar la distancia del río después de Barrancabermeja, es necesario que se active la opción de extensión y los tiempos respectivos de viaje en este tramo. La siguiente tabla muestra la casilla donde se activa la opción (ver tabla 13).

Extensión

Si

Si

No

Tabla 13 Activación de la Extensión del Río

Por otra parte en esta opción como se mencionó anteriormente se deben colocar los tiempos para el tramo planteado, dependiendo de estos tiempos la simulación calcula la distancia correspondiente hasta donde debe llegar la flota (ver tabla 14):

Desde Barranca subiendo	EN MARCHA	
	PERNOCTANDO	
	FRACCIONANDO	
	PERDIDO MAL RÍO	
	PERDIDO MAL TIEMPO	
	INACTIVO POR TRABAJOS EN EL RÍO	
	PERDIDO POR ACCIDENTE	
	AYUDANDO A OTRAS UNIDADES	
	EN REPARACIÓN EN VIAJE	
	EMPLEADO EN OTRAS ACTIVIDADES	
	ESPERA EMBARQUE ESCOLTA	
	INACTIVO POR SEGURIDAD	
	ESPERA TURNO O CUPO PTO. INTERMEDIO	

Tabla 14: Tiempos para la Extensión de Río

Después de describir la hoja “Inf. De Entrada”, se procede a describir la siguiente hoja “Decisiones”, en esta hoja se determina el porcentaje de los viajes y sus rutas, normalmente un viaje inicia en Cartagena, llega a Barrancabermeja y termina nuevamente en Cartagena, sin embargo algunas veces es indispensable que los remolcadores vayan a Barranquilla para ser reparados en el astillero, o algunas veces necesitan regresar al puerto de zarpe, debido a múltiples actividades que se puedan presentar, por lo que se necesita determinar los porcentajes de las rutas posibles. (Ver tabla 15):

			Cartagena	Barranquilla	Barrancabermeja	Calamar	Ruta
	Destino	Origen					
DOÑA LEONOR	Cartagena		2.38%	19.00%	85%		78.62%
	Barranquilla			19.01%			88.24%
	Barrancabermeja			19.02%			93.59%
	Calamar			19.03%			81.00%
	Nodo 6			19.04%			100.00%
				19.05%			
			19.06%				
			19.07%				

Tabla 15: Decisiones de Rutas

Finalmente en el archivo de entrada se encuentran las hojas de cálculo que hacen referencia a toda la información particular de cada remolcador, en ellas se encuentran los tiempos detallados de los viajes y cargue/descargue de los convoys. Estos están determinados por cada ruta posible (origen y destino). La información de los tiempos fue tratada por medio de Stagraphics Software, cada tiempo se ajustó a una distribución específica. Sin embargo está la opción inicialmente de colocar un valor para cada tiempo si se prefiere así, ya que

Visual Basic lee el primer dato de la casilla y si este está vacío, prosigue con los siguientes. (ver Tabla 16)

			VALOR	CONST	NORMAL		LOG. NORMAL		GAMMA		WEIBULL	
					Media	Desv						
					12,64	10,93						
CARTAGENA	NEGROS	25	INACTIVO ESPERA TURNO									
		26	INACTIVO ESPERA CUPO				16,95	26,55				
		27	INACTIVO ESPERA PRODUCTO		7,205	3,547						
		28	INACTIVO POR DAÑO EN BOMBA ANTES DE INICIO									
		29	INACTIVO POR DAÑO EN BOMBA DURANTE BOMBEO									
		30	INACTIVO TOMA MUESTRA O RESULTADO LABORATORIO									
		31	INACTIVO POR FALTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	6,25								
		32	INACT.POR LÍNEA OCUPADA EN VENTA O TRANSFERENCIA									
		33	INACTIVO POR FALTA DE OPERADOR	2,25								
		34	INACTIVO POR OTROS MOTIVOS	2,75								
		35	CONEXIÓN, DESCONEXIÓN, MEDIDA, INICIO				1,344	0,8				
		36	CARGANDO		5,658	2,623						
		37	DESCARGANDO						0,768	0,019		
		38										
		39										
		40										
		41										
		42										
		43										
		44										
		45										
		46										
		47										

Tabla 16: Información Particular de cada Remolcador

9.1.2. Escenario 2: Activación del Convoy Libre en Cartagena

El segundo escenario presenta la opción de tener un convoy libre que trabaje exclusivamente en el puerto de Cartagena, esto consiste en que una vez los convoys que se encuentran viajando llegan al puerto de Cartagena hacen transferencia de botes, mientras que el convoy se encuentra en viaje y continua con uno nuevo, el convoy libre que recibió la carga termina con la operación de cargue, la cual es demorada y demanda mucho tiempo en espera en puerto. Esto permite que se incremente el número de viajes por remolcador por un período determinado para correr la simulación.

Este escenario se activa en el archivo de Excel, en la primera hoja “Inf. De Entrada”. (ver tabla 17):

Convoy libre Cartagena	
Si	
No	

Tabla 17: Activación del Convoy Libre en Cartagena

9.1.3. Escenario 3: Activación de Crossdocking

Este último escenario presenta la opción de trabajar con dos centros de distribución a través del río, estos consisten básicamente en descargar una mercancía desde un modo de transporte entrante para cargarla en otro modo de transporte saliente. El objetivo es cambiar el medio de transporte, transitar materiales con diferentes destinos o consolidar mercancías provenientes de diferentes orígenes, en este caso lo que se busca es transportar la carga con diferentes remolcadores en los diferentes sectores. El primer centro de distribución es estático y está localizado en el kilómetro 90 en Calamar y el segundo es móvil y se puede ubicar desde el kilómetro 90 hasta el 631 (ver tablas 18 y 19).

Cross Docking	
No	
Si	
No	

Tabla 18: Activación de CrossDocking

Distancia Movil CD
473
473
474
475
476
477
478
479
480

Tabla 19: Distancia del Crossdocking Móvil

Al activarse el crossdocking automáticamente se activan ambos Centros de Distribución.

Por otra parte se debe determinar que ruta va a realizar cada remolcador. Esto con el fin de que en los sectores donde el nivel de río sea bajo, trabajen los remolcadores mas pequeños y que tengan mayor facilidad de pasar los tramos rápidamente. (ver tabla 20):

Sectores - Tráfico por Remolcador
Origin
CD Calamar - CD Móvil
CD Calamar - CD Móvil
Cartagena - CD Calamar
CD Calamar - CD Móvil
Barranca - CD Móvil
Cartagena - CD Calamar
Barranca - CD Móvil
Barranca - CD Móvil
Barranca - CD Móvil
Barranca - CD Móvil

Tabla 20: Sectores del Río por Remolcador

Como se puede ver claramente hay tres sectores, el primero que va de Cartagena al Crossdocking de Calamar, luego del Crossdocking de Calamar al móvil y por último del Crossdocking móvil a Barrancabermeja. Con este escenario se busca disminuir los tiempos de viaje y evitar tiempos perdidos

tales como el fraccionado, debido a que se colocaran los remolcadores en los diferentes sectores según su capacidad y según el nivel del río.

9.2. Información de Salida

La información de Salida es arrojada después de que el modelo haya corrido de igual manera a través de Visual Basic a un Archivo de Excel cuyo nombre es “Salida”. En este archivo se podrá encontrar información de los viajes y toda la carga que fue transportada en el período estipulado en la información de entrada.

La información inicia arrojando la duración de la simulación, de igual manera como fue ingresada, en horas o un período en especial con fecha de inicio y fecha de terminación. Consecutivamente se encuentra la casilla que indica si en la corrida fue activada la opción de Convoy Libre en Cartagena.

Por otra parte se encuentra la casilla que indica la activación de los Crossdockings.

Luego se continúa con la casilla que indica el Número de Botes en Inventario Crossdocking, en esta casilla se presenta la cantidad de botes que quedan en los centros de distribución al final de la simulación.

Posteriormente aparecen los factores que convierten de toneladas a barriles el producto negro y blanco y son los que se asignaron en el archivo de entrada y conjuntamente el factor de ajuste con que se simula el modelo bajo la situación establecida.

También se muestra la información respectiva a cuales de los remolcadores se encuentran activos, la cual de igual manera fue ingresada en el archivo de entrada.

Luego es arrojada la Cantidad de Carga Transportada Subiendo y Bajando (Toneladas), ésta, de acuerdo con la cantidad de botes y la capacidad promedio en toneladas de cada remolcador determina la Carga de productos negros y blancos transportados durante el recorrido de la simulación.

Para efectos de tener dos dimensiones y proporcionar mayor información, también es arrojada la cantidad de barriles de la misma carga subiendo y bajando.

De igual forma se encuentra el total de carga seca transportada, esta se encuentra en toneladas sea subiendo o bajando por el río.

Finalmente se encuentra el número total de viajes realizados por cada remolcador y el total de viajes hechos por toda la flota. El número total de llegadas al Puerto de Cartagena y al Puerto de Barrancabermeja.

10. VALIDACIÓN

Para validar el modelo que se ha desarrollado fue necesario contrastar los resultados históricos obtenidos de la empresa (año 2005) vrs. Los resultados obtenidos al correr el modelo que representa la situación actual de la empresa.

Para ello se realizó un diseño de experimentos para dos factores, “Remolcadores y Tipo de Situación”, los remolcadores tienen 11 niveles, los cuales equivalen a los remolcadores con los cuales se realizó la simulación que representaba la situación real de la empresa, por otra parte el “Tipo de Situación” tiene 2 niveles los cuales representa la Situación Actual Real de la empresa y la Situación Actual Simulada de la empresa. La variable de respuesta viene siendo el número de viajes realizados en el período del 2005 por cada remolcador. La tabla (Tabla 21) que se encuentran a continuación muestra el diseño de dos factores no replicado.

Remolcadores	No. De Viajes Reales - Período 2005	No. De Viajes arrojados por el Modelo - Período 2005
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Tabla 21: Datos obtenidos para realizar la validación

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos sombreados de gris, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Para verificar y validar el modelo se presenta a continuación la hipótesis nula y alterna:

- Factor “Remolcadores”

H_0 : Los Remolcador es trabajan y se cmportan de igual manera

H_1 : Los Remolcador es no trabajan y se comportan de igual manera, por el contrario son independie ntes los unos con los otros

- Factor “Tipo de Situación”

H_0 : El modelo representa la situación real de la empresa fluvial

H_1 : El modelo no representa la situación real de la empresa fluvial

A continuación se presenta el análisis de varianza (Tabla ANOVA):

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Remolcadores	98.0909	10	9.8091	5.8324	0.0050	2.9782
Tipo de Situación	0.1818	1	0.1818	0.1081	0.7491	4.9646
Error	16.8182	10	1.6818			
Total	115.0909	21				

Tabla 22: *Análisis de Varianza*

Teniendo en cuenta la anterior tabla se puede ver claramente que el P-Value para el factor remolcadores es menor que 0.05 con un nivel de confianza de 95%, por lo tanto es significativo y esto quiere decir que con el nivel de confianza de 95% existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna, por lo que se puede decir que cada remolcador es independiente y trabajan de forma diferente. Por otra parte si se analiza el factor “Tipo de

Situación”, el P-Value es mayor que 0.05, lo que quiere decir que con un nivel de confianza de 95%, no existe evidencia alguna para rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede decir que efectivamente el modelo representa la situación actual de la empresa, por lo que el modelo queda validado.

A continuación se realizará una comparación de medias para el factor “Remolcadores” que permita verificar a que población pertenece cada remolcador. Se realizará por medio de la prueba LSD, la cual presenta la hipótesis nula y alterna y el estadístico de prueba siguiente:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$$

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{2MS_E}{n}}$$

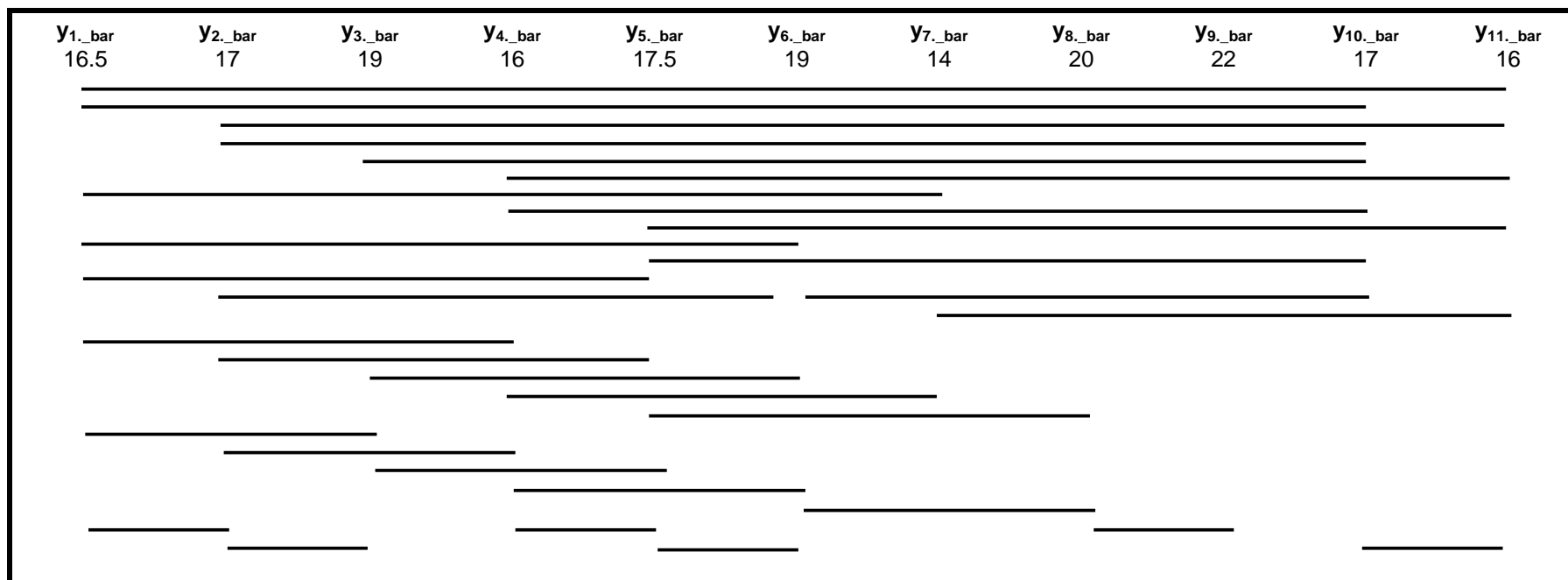
$$LSD = 2.228 \sqrt{\frac{2 * 1.6818}{2}}$$

$$LSD = 2.889$$

El criterio de rechazo es el siguiente:

$$\text{Si } |\bar{y}_i - \bar{y}_j| > LSD$$

Si se analiza la siguiente gráfica se puede ver que las puntas de las líneas horizontales muestran que par de remolcadores pertenecen a la misma población.



Gráfica 5: Comparación de Medias

Con la siguiente tabla podemos ver que el remolcador que en promedio el menor número de viajes hizo en el período fue el 7 y el que en promedio mayor número de viajes hizo fue el 9. (Ver Tabla 23)

Multiple Range Tests for Numero De Viajes by Remolcadores				
Method: 95.0 percent LSD				
Remolcadores	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
7	2	14.0	0.917011	X
4	2	16.0	0.917011	XX
11	2	16.0	0.917011	XX
1	2	16.5	0.917011	XXX
10	2	17.0	0.917011	XX
2	2	17.0	0.917011	XX
5	2	17.5	0.917011	XXX
3	2	19.0	0.917011	XX
6	2	19.0	0.917011	XX
8	2	20.0	0.917011	XX
9	2	22.0	0.917011	X

Tabla 23: Comparación de Medias

11. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Después de haber validado el modelo se quiso evaluar cual de los dos escenarios propuestos, para el caso de la empresa le proporcionaba mejores resultados, es por ello que se diseñó un experimento cuyos factores variables tenidos en cuenta fueron la activación del Crossdocking y la activación del convoy libre, donde la variable de respuesta fue las toneladas transportadas por año por toda la flota. (Ver Gráfico 6):

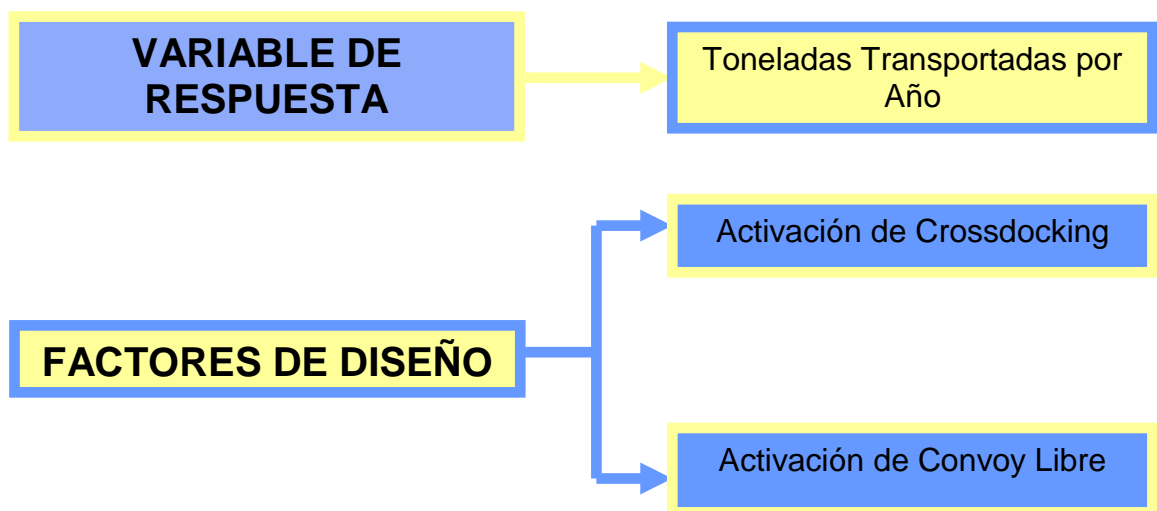


Gráfico 6: Planteamiento del Diseño de Experimento

Cabe resaltar que para este experimento la ubicación del cross docking se determinó realizando varias corridas con los 4 puntos sugeridos por la empresa en cuestión y se escogió el kilómetro que arrojó mayor número de toneladas transportadas por año, lo que coincidió con el kilómetro que la empresa prefería.

KILOMETRO DEL CROSSDOCKING	1	2	3	MEDIA (Toneladas)
233.9				
472.7				
582				
597.1				

Tabla 24: Prueba Piloto para realizar la Comparación de los posibles Nodos para el Crossdocking Móvil

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos censurados, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Con la anterior Prueba Piloto se prosigue a hallar el tamaño de las réplicas que se utilizaran para encontrar cual de los cuatro posibles nodos es el que mejor resultado arrojaría para evaluar el posterior Diseño de Experimento. (Ver Tabla 25). Para hallar el tamaño de muestra se definirá primero el significado de los parámetros y la ecuación utilizada en el cálculo. Este cálculo se halla con base a unas Curvas de Operación Características (estas curvas son presentadas en el Apéndice parte V del Libro Diseño y Análisis de Experimentos de Montgomery, Segunda Edición).

$$\phi^2 = \frac{nD^2}{2a\sigma^2}$$

Donde:

ϕ = Parámetro de las Curvas de Operación Características

D = Diferencia mínima entre las medias

n = Tamaño de la Muestra

a = Número de niveles, en este caso es 4

σ = Varianza

v_1 y v_2 = Grados de libertad

Tamaño de Muestra

S^2	7,644,144,499.42	
a	4	
D	205,462	
ϕ^2	0.7368	n

n	ϕ^2	Φ	v_1	v_2	Potencia
4	2.9470	1.7167	3	12	0.32
5	3.6838	1.9193	3	16	0.17
6	4.4205	2.1025	3	20	0.1

Tabla 25: Cálculo del Tamaño de Muestra para la Comparación de Nodos del Crossdocking

Después de hallar el Tamaño de Muestra, se procede a calcular el nodo que se fijará para usarlo en las corridas del experimento. (ver Tabla 26):

KILOMETRO DEL CROSSDOCKING	REPLICAS						MEDIA (Toneladas)
	1	2	3	4	5	6	
233.9 (Yatí)							
472.7 (Gamarra)							
582 (San Pablo)							
597.1 (Pto. Wilches)							

Tabla 26: Escogencia del Nodo

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos censurados, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Como se puede ver claramente el nodo que está ubicado en el Kilómetro 472.7 (Gamarra), es el elegido, ya que fue el que en promedio mayor número de toneladas arrojó como resultado.

El diseño de experimento se realizó con un tamaño de muestra de 36. Este cálculo se obtuvo de la siguiente manera (ver tabla 27), en este caso como se realizará un experimento con dos factores la formula cambia:

$$\phi^2 = \frac{nbD^2}{2a\sigma^2} \quad y \quad \phi^2 = \frac{naD^2}{2b\sigma^2}$$

Donde:

ϕ = Parámetro de las Curvas de Operación Características

D = Diferencia mínima entre las medias

n = Tamaño de la Muestra

a = Número de niveles del factor A, en este caso es 2

b = Número de niveles del factor B, en este caso es 2

σ = Varianza

v_1 y v_2 = Grados de libertad

* Nota : Como ambos factores tienen 2 niveles se realiza una sola vez la operación

Tamaño de Muestra					
S^2	11,347,349,497.98				
b	2				
a	2				
D	119,909				
ϕ^2	0.6335				
				n	

n	ϕ^2	Φ	v_1	v_2	Potencia
4	2.5342	1.5919	1	12	0.47
5	3.1677	1.7798	1	16	0.31
6	3.8013	1.9497	1	20	0.26
7	4.4348	2.1059	1	24	0.17
8	5.0684	2.2513	1	28	0.15
9	5.7019	2.3879	1	32	0.1

Tabla 27: Cálculo del Tamaño de Muestra para el Diseño de Experimento

Como se puede ver se tendrán 9 réplicas para cada combinación del diseño. Estas muestras representan las combinaciones de los factores, la activación del Crossdocking con la activación del Convoy libre en Cartagena, la no activación del Crossdocking con la activación del Convoy libre en Cartagena, la activación del Crossdocking con la no activación del Convoy libre en Cartagena, la no activación del Crossdocking con la no activación del Convoy libre en Cartagena.

Las muestras obtenidas fueron las siguientes (ver tabla 28):

		ACTIVACIÓN DEL CONVOY LIBRE EN CARTAGENA	
		Si	No
ACTIVACIÓN DEL CROSSDOCKING	Si		
	No		

Tabla 28: Muestras obtenidas para realizar el Diseño de Experimentos

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos sombreados de gris, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Después de tomar las muestras se ingresaron los datos en Statgraphics Software. Se utilizó un Diseño 2^k (screening), donde la no activación de ambos escenarios se consideraron niveles bajos y la activación de los escenarios por el contrario niveles altos. El ingreso de datos se puede ver en la siguiente Tabla (29) de esta manera se tuvieron en cuenta todas las posibles combinaciones junto con el número calculado de muestras. El número uno negativo indica el nivel bajo y el número uno positivo representa el nivel alto:

Replicas	Activación de Crossdocking	Activación de Convoy Libre en Cartagena	Toneladas Transportadas
1	-1	-1	
1	1	-1	
1	-1	1	
1	1	1	
2	-1	-1	
2	1	-1	
2	-1	1	
2	1	1	
3	-1	-1	
3	1	-1	
3	-1	1	
3	1	1	
4	-1	-1	
4	1	-1	
4	-1	1	
4	1	1	
5	-1	-1	
5	1	-1	
5	-1	1	
5	1	1	
6	-1	-1	
6	1	-1	
6	-1	1	
6	1	1	
7	-1	-1	
7	1	-1	
7	-1	1	
7	1	1	
8	-1	-1	
8	1	-1	
8	-1	1	
8	1	1	
9	-1	-1	
9	1	-1	
9	-1	1	
9	1	1	

Tabla 29: Ingreso de Datos a STATGRAPHICS SOFTWARE

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos sombreados de gris, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Los resultados arrojados fueron los siguientes, La tabla ANOVA, la cual indica cuál de los dos factores es significativo se presenta a continuación (ver tabla 30):

<u>Analysis of Variance for Tons</u>					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Cross Docking	4.11211E11	1	4.11211E11	172.96	0.0000
B:Free Convoy	3.09068E10	1	3.09068E10	13.00	0.0010
AB	3.49549E9	1	3.49549E9	1.47	0.2342
Total error	7.6078E10	32	2.37744E9		
Total (corr.)	5.21691E11	35			

Tabla 30: Tabla ANOVA del Diseño de Experimento

Para este experimento es notorio que ambos factores son estadísticamente significativos, el P- value obtenido fue menor a 0.05 al momento de analizar los resultados o la variable de respuesta, es decir que independientemente cada uno influye en que tanto se puede incrementar las toneladas transportadas por esta empresa en específico durante un año. (ver Gráfico 7).

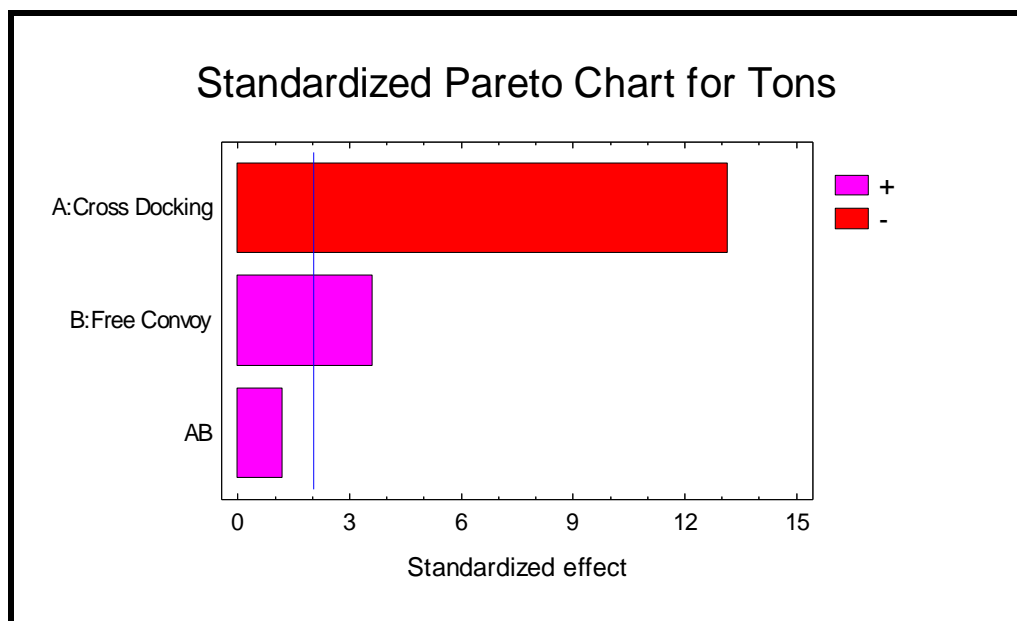


Gráfico 7: Gráfico de Pareto

Sin embargo se puede ver claramente en el gráfico que ningún factor depende del otro al momento de influir estadísticamente en el experimento con un nivel

de confianza del 95%, ya que la interacción entre ambos no es significativa es decir su covarianza es cero.

Para comprobar y garantizar los resultados anteriormente presentados se verifican los supuestos de Normalidad, Independencia y Homocedasticidad.

- Normalidad:

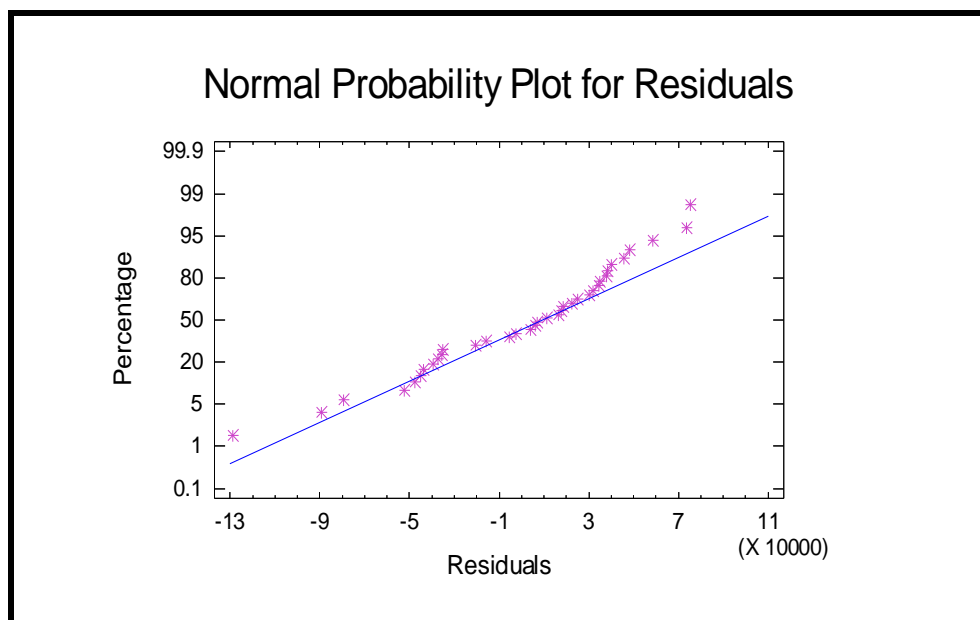


Gráfico 8: Gráfica de Normalidad

La anterior gráfica (ver gráfico 8) muestra que los residuales del experimento se ajustan a una distribución normal, es decir que presentan un comportamiento normal, lo que garantiza la información presentada anteriormente.

- Independencia:

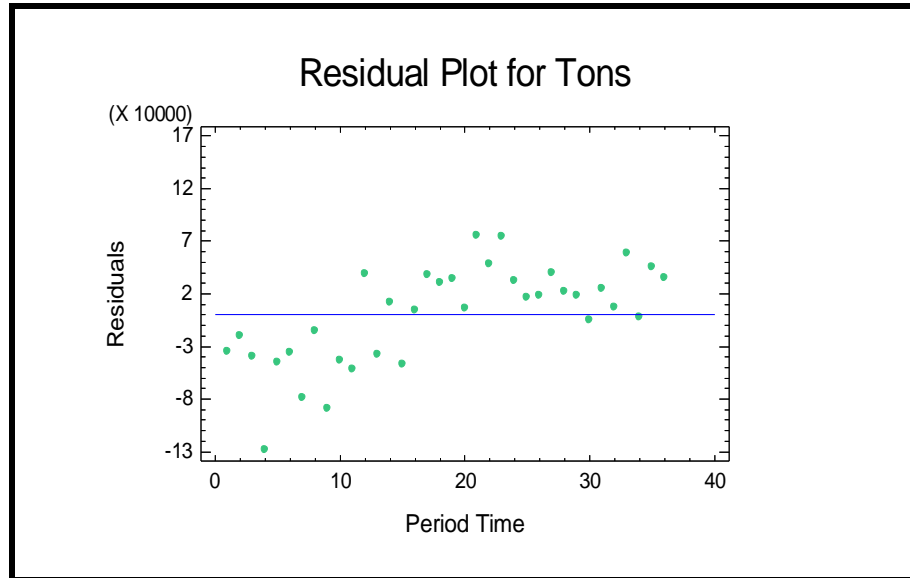


Gráfico 9: Gráfico de Independencia

Este gráfico muestra que no existe tendencia alguna entre los datos y existe aleatoriedad, por lo tanto se cumple con el supuesto de independencia.

- Homocedasticidad:

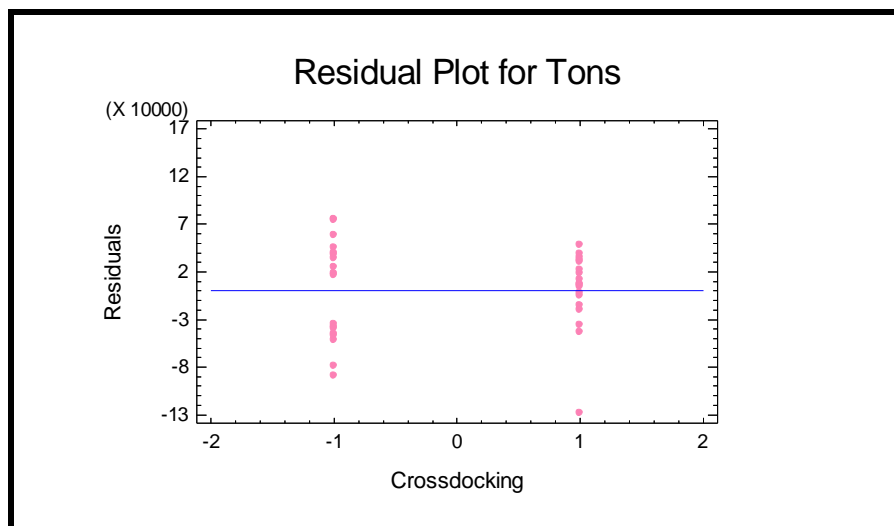


Gráfico 10: Gráfico de Homocedasticidad para el factor "Crossdocking"

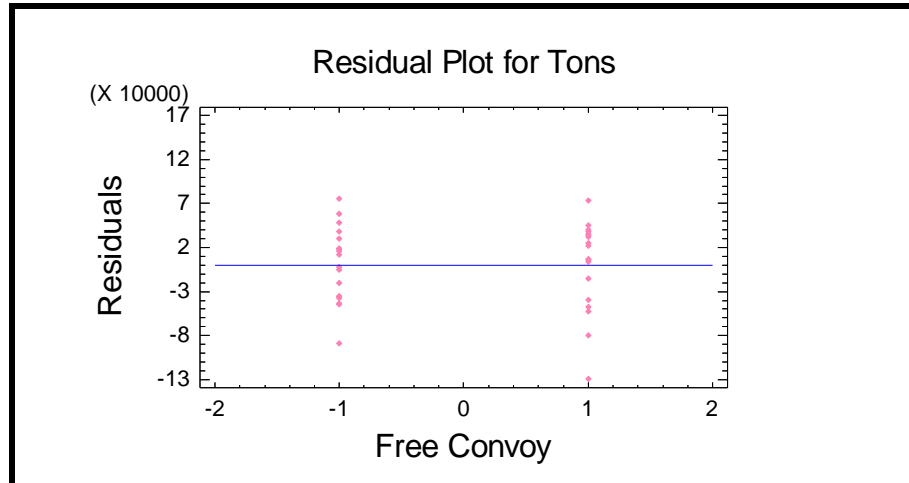
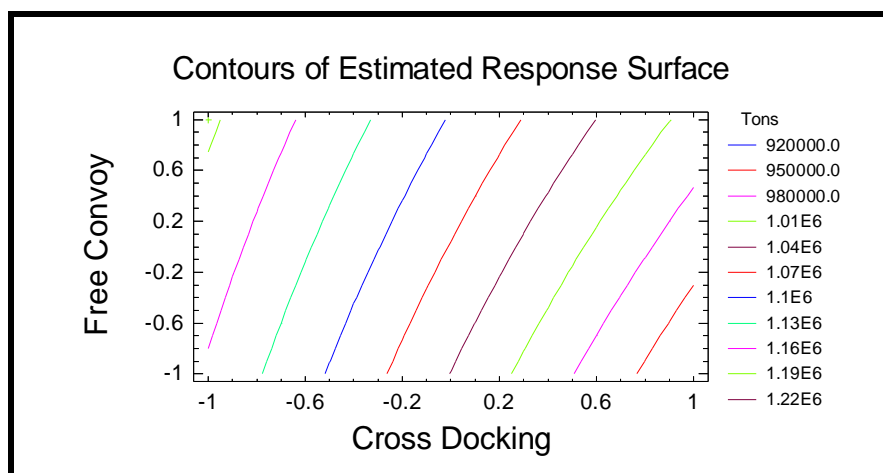


Gráfico 11: Gráfico de Homocedasticidad para el factor “Convoy Libre”

Como se puede ver claramente en las dos anteriores gráficas (ver gráficos 10 Y 11) el supuesto de homocedasticidad se cumple, debido a que existe dispersión entre los residuales para cada nivel de ambos factores del diseño, lo que conlleva afirmar que las varianzas entre niveles son estadísticamente iguales.

Para reconfirmar esta información se puede observar las siguientes gráficas que representan el comportamiento de los factores y su interacción (ver gráficas 12 Y 13):



Gráfica 12: Gráfico de Contorno

La anterior gráfica muestra si existen interacciones significativas dentro del diseño, como se puede ver las líneas son paralelas lo que demuestra que la interacción entre los factores Crossdocking y Convoy Libre en Cartagena no es estadísticamente significativa.

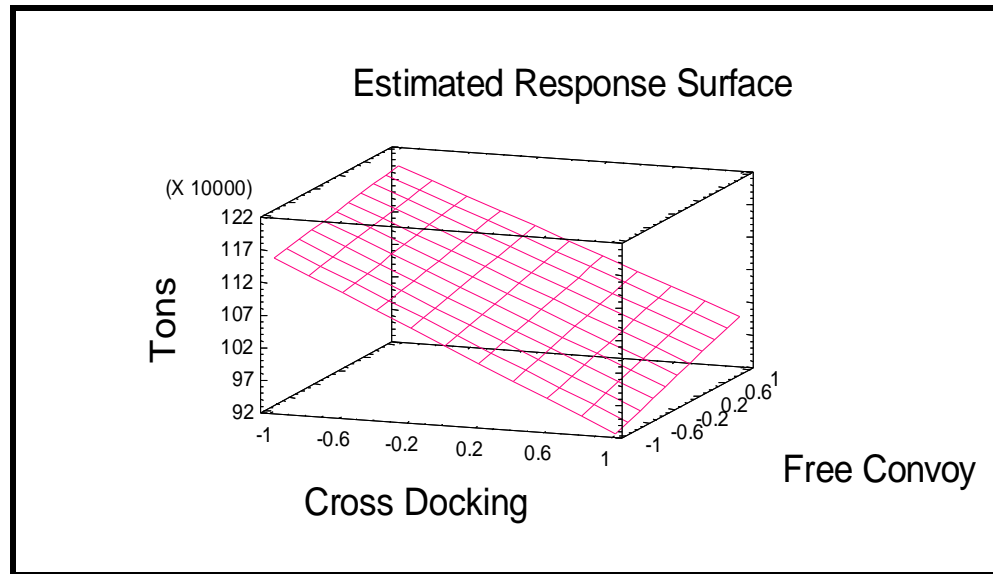


Gráfico 13: Gráfica de Superficie de Respuesta

Por otra parte de esta gráfica se puede afirmar que el plano no es curvo por el contrario plano, lo que indica que no hay variación dentro de los factores (interacción).

Para maximizar la cantidad de toneladas transportadas es necesario utilizar la siguiente combinación, la cual fue determinada por el Software Statgraphics Plus. (Ver tabla 31):

<u>Optimize Response</u>			
Goal: Maximize Tons			
Optimum value = xxxxxxxx			
Factor	Low	High	Optimum
Cross Docking	-1.0	1.0	-1.0
Free Convoy	-1.0	1.0	1.0

Tabla 31: Maximización de las toneladas

De la anterior tabla se puede inferir que para este caso en particular de la empresa no es recomendable trabajar con la activación del Crossdocking (estático en el kilómetro 90 y móvil en el kilómetro 472.7), sino trabajar únicamente con el Convoy Libre en Cartagena, el cual permitirá que el tiempo perdido en puerto se reduzca y a la vez aumente el número de viajes por remolcador.

12. EVALUACIÓN DE INDICADOR

Para evaluar el comportamiento actual de la empresa con respecto a las mejoras propuestas con el escenario “Activación de Convoy Libre en Cartagena”, se analizará el indicador que se presentó anteriormente en la propuesta preliminar y verificará si efectivamente lo predicho resultó cierto:

- La carga transportada:

Para desarrollar este punto se realizará un Diseño de experimentos teniendo en cuenta 1 solo factor replicado, es decir el Tipo de situación, la cual se divide en la Situación Actual Simulada y el Escenario Mejorado Simulado que se obtuvo en el anterior ítem (Activación de Convoy Libre en Cartagena). La variable de respuesta será los viajes realizados por el período, esto con el fin de verificar si las medias de ambas situaciones no pertenecen a una misma población y si sus varianzas son estadísticamente iguales. Posteriormente se realizará la comparación de barriles para verificar si efectivamente el número de barriles por año aumenta más de un 5% con el escenario mejorado.

A continuación se presenta el cálculo de tamaño de muestra teniendo en cuenta las tablas 21 y 22 para obtener el MS_E en el capítulo 10. Se establece el parámetro que nos permitirá calcular el tamaño de la muestra, D , en este caso

el experimentador considera que la variabilidad mínima de viajes es de 1.5, por lo tanto se prosigue a calcular el tamaño de muestra (ver tabla 32).

$D =$	1.5	\rightarrow	n	a	$\pm t_{\alpha/2, N-a} \pm t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{2MS_E}{n}}$	
			2	11	2.201	2.854
			3	11	2.074	2.196
			4	11	2.035	1.866
			5	11	2.015	1.653
			6	11	2.004	1.500

Tabla 32: Cálculo Tamaño de Muestra

Como se puede ver en la anterior tabla, el objetivo fue encontrar el resultado que sea igual al D, variando el tamaño de muestra. El resultado fue un tamaño de muestra 6, es decir que se debe replicar el modelo 5 veces.

A continuación se presentarán las muestras tomadas para realizar la validación, (Ver Tabla 33):

TIPO DE SITUACION	MUESTRAS					
	1	2	3	4	5	6
Situación Actual Simulada						
Escenario Mejorado Simulado						

Tabla 33: Muestras para el Diseño de Experimento

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos censurados, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

A continuación se presentará el análisis de varianzas que nos permite verificar si el factor es significativo:

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	176.33	1	176.33	7.69	0.02	4.96
Dentro de los grupos	229.33	10	22.93			
Total	405.67	11				

Tabla 34: Análisis de Varianzas

Como se puede ver claramente en la tabla el P-Value del factor es menor que 0.05 por lo que se puede inferir que para un nivel de confianza de 95% el factor es significativo, es decir que entre los niveles existe una diferencia estadística, lo que se comprobará con la siguiente prueba de pares de medias LSD:

Hipótesis:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$$

Estadístico de Prueba:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{2MS_E}{n}}$$

$$LSD = 2.228 \sqrt{\frac{2 * 22.93}{10}}$$

$$LSD = 6.16$$

El criterio de rechazo es el siguiente:

$$\text{Si } |\bar{y}_i - \bar{y}_j| > LSD$$

La siguiente tabla nos muestra que existe diferencia significativa entre el par de medias “Situación Actual Simulada y Escenario Mejorado Simulado”. (Ver Tabla 35)

Multiple Range Tests for Numero de Viajes por Año by Tipo de Situación			

Method: 95.0 percent LSD			
Level	Count	Mean	Homogeneous Groups

S Actual Simul 6		207.333	X
S Mejorada Sim 6		215.0	X

Contrast	Difference		+/- Limits

S Actual Simul - S Mejorada Sim	*-7.66667		6.1605

* denotes a statistically significant difference.			

Tabla 35: Prueba de Pares de Medias LSD

Como se puede ver claramente existe una diferencia, y la situación que mayor número de viajes en promedio hace en un período es el escenario mejorado.

Después de haber realizado la comparación de medios se necesita verificar si las varianzas pertenecen a la misma población, es decir que los factores externos del sistema varían estadísticamente de igual manera para ambos modelos. Para ello se verificará el supuesto de homocedasticidad por medio de la prueba Bartlett, para ello se planteará la siguiente hipótesis nula y alterna:

H_0 : Las varianzas de ambos modelos son iguales

H_1 : Las varianzas de ambos modelos no son iguales

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$\chi^2_0 = 2.3026 \frac{q}{c}$$

Donde:

$$q = (N-a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(n-1)} \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1) - (N-a) \right)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N-a}$$

Criterio de Rechazo:

$$\chi^2_0 > \chi^2_{\alpha, a-1}$$

$$1.1784 > 3.84$$

Como se puede ver claramente el chi-cuadrado observado es menor que el chi-cuadrado crítico, por lo que no se cumple con el criterio de rechazo. Esto quiere decir que con un nivel de confianza de 95%, no existe evidencia alguna que rechace la hipótesis nula, por lo que las varianzas de ambos modelos son estadísticamente iguales.

Después de haber verificado estadísticamente la diferencia de ambos modelos se prosigue a verificar si efectivamente los barriles transportados por el

escenario mejorado, se incrementa con respecto al modelo que representa la situación actual.

La siguiente tabla muestra los barriles transportados por ambas situaciones replicado 5 veces:

MUESTRAS	TIPO DE SITUACIÓN	
	Situación Actual Simulada	Escenario Mejorado Simulado
1		
2		
3		
4		
5		
6		
PROMEDIO	8,942,103.96	9,432,489.82

Tabla 36: Muestras para evaluar la carga transportada

***Nota:** Se debe tener en cuenta que los datos censurados, son datos confidenciales de la empresa, por lo tanto no pueden ser mostrados.

Después de hallar el promedio de las muestras de ambos escenarios se dispone a hallar el incremento que se obtiene de la carga transportada por el escenario mejorado con respecto a la situación actual simulada.

Barriles transportados en el 2005		
	Situación Actual Simulada	Situación Escenario Convoy Libre Simulado
	8,942,104	9,432,490
INCREMENTO	5.48%	

Tabla 37: Incremento de Barriles Transportados

Como se puede ver claramente en la tabla, se cumplió con el propósito del indicador. El escenario propuesto previamente analizado y evaluado, incrementa la cantidad de barriles. El incremento fue del 5.48%, lo que supera lo esperado por el investigador.

Esto permite que la empresa en la cual se desarrolló la investigación implemente este escenario para que así mejore su sistema de operación a través del río, aumentando su carga transportada por períodos.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo de soporte para la toma de decisiones previamente presentado contribuye significativamente en el desarrollo del transporte fluvial en general, ya que este permite simular sistemas donde sus pruebas y experimentación reales tienen costos muy altos. Permite a su vez que la planeación y programación de tareas se haga de una forma mejorada y menos tediosa, disminuyendo el tiempo que este requiere y permitiendo así utilizar el tiempo en otras tareas de la compañía que desee utilizar el modelo como herramienta útil de programación, ya que este al incluir todas las variables que intervienen en el proceso de transporte fluvial, representa la situación actual de la empresa.

Este modelo permite combinar los tres escenarios de acuerdo con la temporada y el nivel de río en que se encuentre la empresa, para programar las operaciones de transporte fluvial, esto permite que al bajar el nivel de río la empresa evalúe el mejor escenario para que su flota continúe transportando lo que esta programado transportar a través del río.

Por otra parte, permite que se mantenga un control de los tiempos de operación de cada embarcación, con el fin de hacerle seguimiento y mejorarlos, dado que en el estudio inicial se encontró embarcaciones operando al 63% de su capacidad. Así mismo este control permite que al momento de haber una falla

en el sistema o en la flota se detecte inmediatamente y se prosiga a desarrollar un nuevo plan de transporte.

Al momento de experimentar con el Convoy Libre en Cartagena, el número de viajes por remolcador aumenta, ya que se reducen los tiempos perdidos en espera de turno o cupo en los puertos, es decir como el Convoy Libre continua con la operación de descargue, el remolcador que se encuentra transportando empieza un nuevo viaje con nueva carga, aumentando así los viajes que hace por períodos.

Adicionalmente permite que la compañía con la simulación de períodos futuros evalúe posibles inversiones. Como por ejemplo si esta decide invertir en un nuevo remolcador o botes, que capacidad, que potencia necesita y si el río es capaz de soportar. Esto puede llegar a evitar una mala inversión.

Por otra parte es un modelo fácil de utilizar, ya que los datos son ingresados por medio de Excel, la cual es una herramienta amigable con el usuario y conocida por gran parte del mundo. De igual manera los resultados también son arrojados a Excel por medio de la interfaz, lo que hace factible archivar los resultados.

Se recomienda a la empresa mantener vigente el análisis estadístico de los tiempos de los remolcadores y el nivel de río ya que esto aproximaría aun más el modelo a la situación real de la empresa.

También es preciso mencionar que cada escenario adicional que salga del modelo hay que validarlo, para asegurar la confiabilidad de la información proporcionada por este mismo.

Finalmente, se recomienda que se implemente este tipo de herramientas sofisticadas en todo el sector, para que contribuya con el mejoramiento continuo de este tipo de transporte que para entregas no inmediatas en grandes cantidades minimiza los costos de cualquier empresa.

14. BIBLIOGRAFÍA

- BALLOU, Ronald. Business Logistic Management. 4th edition. Prentice Hall.
- CORNELL, Gary. Manual De Visual Basic 5. McGraw-Hill, Primera Edición, 1997.
- DORNIER, Philippe-Pierre. ERNST, Ricardo. Global Operations and Logistics. Text and Cases. John Wiley & Sons, 1998.
- FABREGAS A, Aldo. WADNIPAR R., Rodrigo. PATERNINA A., Carlos. MANCILLA H., Alfonso. SIMULACION DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON ARENA ®. 1era. Edición, Ediciones Uninorte, 2003.
- MAT TAHAR, Razman. HUSSAIN, Khalid. Simulation and analysis for the Kelang Container Terminal operations Logistics Information Management. Logistics Information Management: Vol. 13 Issue 1, 14-20, 2000.
- MONTGOMERY, Douglas C. Diseño y Análisis de Experimentos. México: Limusa Wiley, 2005.
- PAIXÃO, Ana C., Marlow, Peter B. Fourth generation ports - a question of agility?. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 33 No. 4, Pag. 355-376, 2002.
- RIOS INSUA, David. RIOS INSUA, Sixto. MARTIN, Jacinto. SIMULACION, METODO Y APLICACIONES. Alfaomega, 2000.

- SARABIA, Maria C. RÍOS, John R. PATERNINA, Carlos D. Simulation-based in decision support models for river cargo transportation. En: SIEDS'06 (28 Abril 2006: Charlottesville - Estados Unidos).
- SHANNON E., Robert. System Simulation, The Art And Science. Prentice Hall,1975.
- <http://www.fundaciondoctordepando.com/GLOSARIOS%20y%20VOCABULARIOS/Ciencias%20N%20E1uticas-1-N%C1UTICA-T%E9rminos.htm>
- http://www.mintransporte.gov.co/portal_servicios/proyecto_yuma/mapas/colombia.jpg
- <http://www.uc.cl/quimica/agua/glos2.html>
- <http://www.sprb.com.co/tar-fluvial.html>
- http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/Caracterizacion_Transporte_Colombia.pdf.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic
- <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpylpIIIAIZpGbNZel.php>
- http://150.185.66.1/docs/Contenidos/ONieto/Sistemainformacion/unidad-I_T3_obj_04_01_01.htm

ANEXOS

Anexo 1: Tráfico Portuario Sociedades Portuarias / Muelles Homologados 2004

ZONA PORTUARIA	IMPORTACION	EXPORTACION	CABOTAJE DE	CABOTAJE EM	COMERCIO EXTERIOR	CABOTAJE	FLUVIAL	TRANSITO	TONELADAS
TOTAL B/QUILLA	2,932,594.66	1,944,784.00	9,898.00	11,732.00	4,877,378.66	172,314.64	132,801.00	2,408.00	5,184,902.30
TOTAL B/VENTURA	5,526,288.27	2,755,730.70	0.00	0.00	8,282,018.97	0.00	0.00	717,234.00	8,999,252.97
TOTAL C/GENA	3,382,468.20	3,985,900.86	20,524.00	23,119.25	7,368,369.06	170,576.42	780,014.55	2,275,801.08	10,594,761.11
TOTAL SANTA MARTA	1,214,765.00	33,000,655.30	1,801.19	0.00	34,215,420.30	8,999.00	0.00	3,695.00	34,228,114.30
TOTAL G. M/QUILLO	74,388.07	6,614,722.37	1,801.19	0.00	6,689,110.44	0.00	0.00	0.00	6,689,110.44
TOTAL GUAJIRA	450,748.00	24,507,186.00	0.00	0.00	24,957,934.00	0.00	0.00	0.00	24,957,934.00
TOTAL TUMACO	0.00	393,368.40	3,613.90	0.00	393,368.40	26,868.79	0.00	0.00	420,237.19
TOTAL TURBO	0.00	0.00	0.00	1,583.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	13,581,252.20	73,202,347.63	37,638.28	36,435.06	86,783,599.83	378,758.85	912,815.55	2,999,138.08	91,074,312.31

Tomado de: http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/ANUARIO_ESTADISTICO_2004.pdf

Anexo 2: Análisis Estadístico de los Tiempos – Consolidación de los Datos

(Ejemplo para la ruta Cartagena-Barrancabermeja)

CARTAGENA – BARRANCABERMEJA												
EN MARCHA	PERNOCTANDO	FRACCIONANDO	PERDIDO MAL RÍO	PERDIDO MAL TIEMPO	INACTIVO POR TRABAJOS EN EL RÍO	PERDIDO POR ACCIDENTE	AYUDANDO A OTRAS UNIDADES	EN REPARACIÓN EN VIAJE	EMPLEADO EN OTRAS ACTIVIDADES	ESPERA EMBARQUE ESCOLTA	INACTIVO POR SEGURIDAD	ESPERA TURNO O CUPO PTO. INTERMEDIO
101,4	28,5	9,0	4,0							10,0		
107,7	6,0									5,5		
112,4	26,0									14,0		
124,4	13,0								2,5		3,5	
110,9	19,0										15,5	
112,4	10,5							4,0	22,0	3,0		
82,9	9,5				2,5					2,5		
91,4	18,0									21,0		
88,9	13,0									24,5		
95,2	21,5									15,5		
84,9	7,5							2,5		22,5		
83,9	20,5	4,0					5,0			19,5	1,0	
93,2	10,5									16,5		
111,5	19,5									22,0		
92,0	17,5	3,0								27,0		
79,8	20,5								2,0	35,0		
84,5	16,5									28,8		
102,0	54,0		3,5	7,0			3,5			25,0		
115,0	43,0	12,0	36,5						1,0	51,0		
121,5	31,0	4,0								6,0	2,5	
99,0	19,5		1,0							9,5		
103,5	15,5		8,0			2,0						
89,3	43,5	6,0			7,5					18,0		
92,0	10,0	2,5								10,0	1,5	

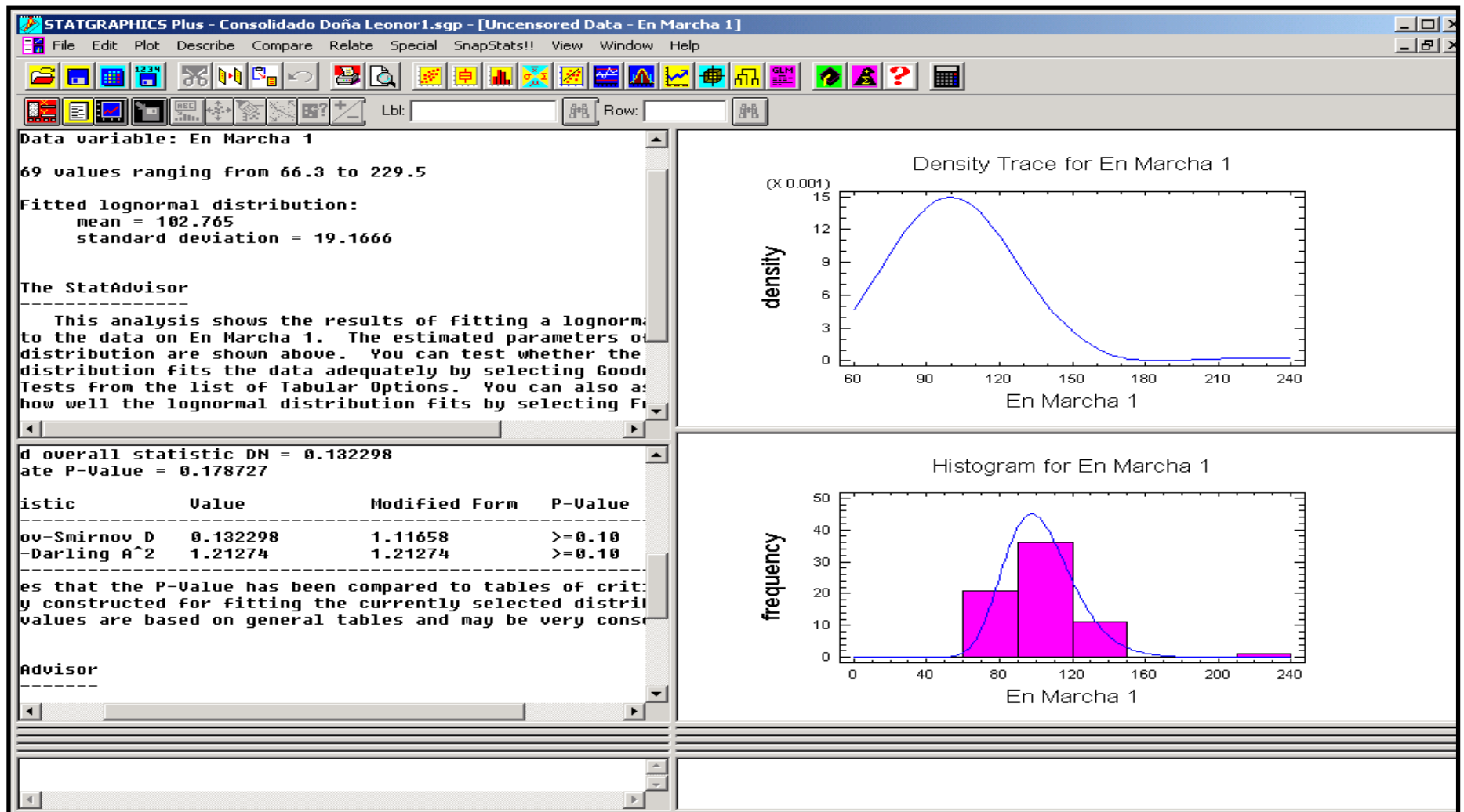
93,0	70,0		76,5	1,0			2,0		3,0	33,5	1,5	
85,8	16,0		13,0						4,0	14,5	9,5	
125,0	35,0		1,5							13,0		
91,5	8,0								10,5	22,5		
90,0	10,0								3,5	3,0		
86,3	17,5									16,0		
66,3	4,5		2,0							2,0		
92,0	33,0									16,5	3,0	
95,5	20,8	5,5	5,0						3,0			
122,5	36,0	1,5							6,5	22,5		
92,0	13,5								1,0	10,0		
82,8	20,0									7,0		
91,5	16,0									20,0		
107,5	23,3									16,0		
111,0	11,0									11,5		
130,8	45,0	10,5							22,5	172,0		
115,0	38,0									20,5		
84,8	20,0									11,0		
91,5	10,5									1,0		
123,0	10,0		3,5							14,0		
130,3	28,0			1,0						3,0		
113,0	33,5	41,8							1,0	13,5		
89,0	99,5	9,5	75,0						4,5	12,5		
128,5	139,0	87,0	24,0							16,5		
83,8	11,0										2,0	
80,0	17,5									6,0		
229,5	84,0									2,0		
115,3	11,5	2,5							15,0	8,0		
102,0	17,0								3,5	3,0	67,0	
103,5	22,0	12,5							9,5	9,5		
83,0	14,0									4,5		
84,0	18,5								1,5	13,0		
87,0				2,5						8,5		
111,8	11,5								1,0	13,0		3,5
114,5	24,0						1,0		8,5	4,5		
118,5	45,0							1,0	2,5	50,0		
96,0	18,5								3,0	6,5		
118,0	42,5	6,0	2,0	1,5						5,0		
120,3	16,5									13,5		
85,5	16,5								5,3	6,5		

129,0	18,5								5,5	5,5		
135,3	17,5								2,5	15,5		
92,0	24,0	6,0							2,5	4,0		
104,0	12,0											
88,0	20,0								2,0	18,0		

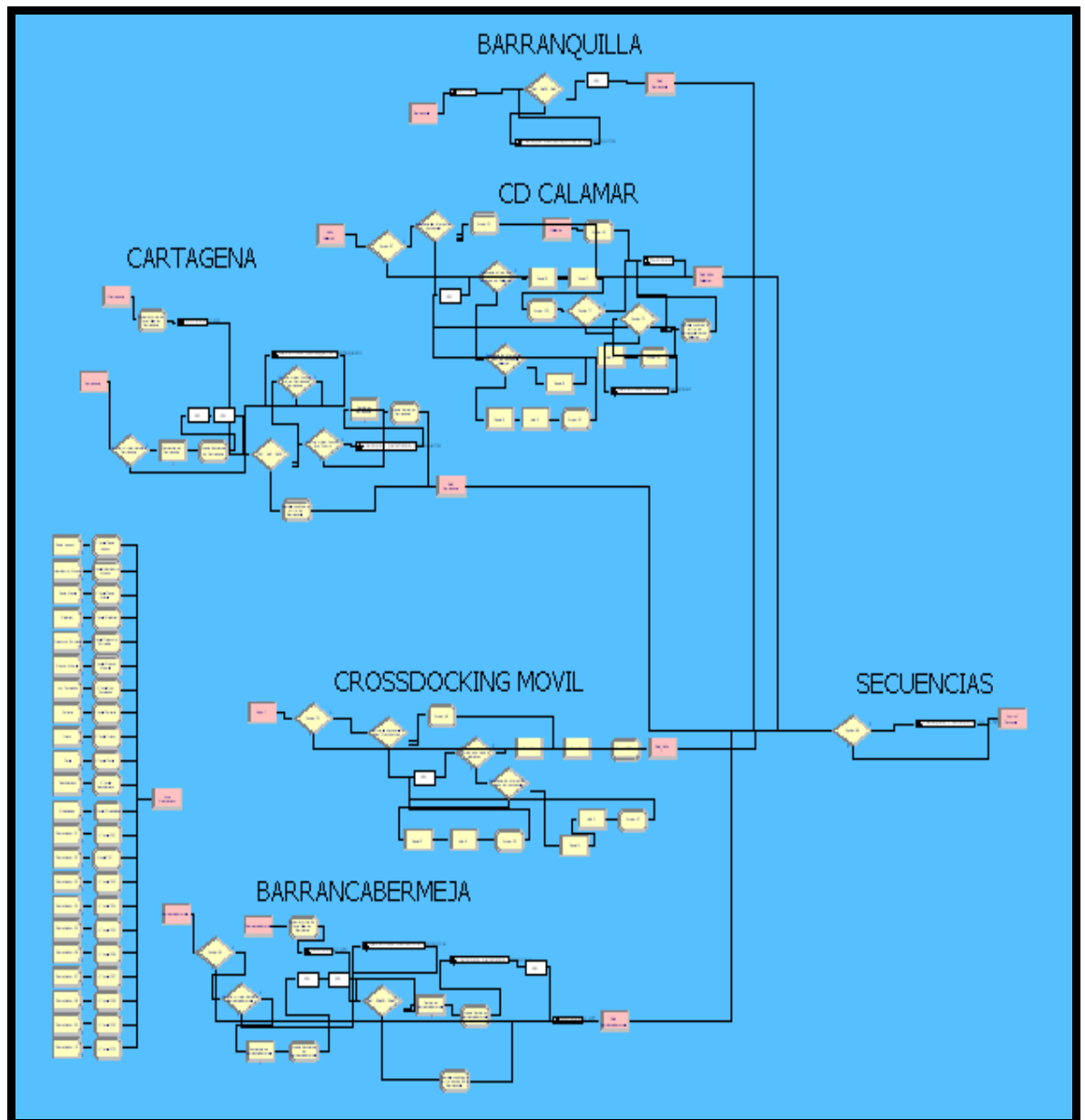
Anexo 3 Análisis Estadístico de los Tiempos – Ingreso de Datos en la Herramienta STATGRAPHICS

STATGRAPHICS Plus - Consolidado Doña Leonor1.sgp - [Consolidado Doña Leonor.sf3]									
File Edit Plot Describe Compare Relate Special SnapStats!! View Window Help									
	En Marcha 1	Pernoctando 1	Fraccionando 1	Perdido Mal	Perdido Mal	Ayuda a otras	Empleado en	Espera	Inactivo por
1	101.4	28.5	9	4	7	5	2.5	10	3.5
2	107.7	6	4	3.5	1	3.5	22	5.5	15.5
3	112.4	26	3	36.5	1	2	2	14	1
4	124.4	13	12	1	2.5	1	1	3	2.5
5	110.9	19	4	8	1.5		3	2.5	1.5
6	112.4	10.5	6	76.5			4	21	1.5
7	82.9	9.5	2.5	13			10.5	24.5	9.5
8	91.4	18	5.5	1.5			3.5	15.5	3
9	88.9	13	1.5	2			3	22.5	2
10	95.2	21.5	10.5	5			6.5	19.5	67
11	84.9	7.5	41.8	3.5			1	16.5	
12	83.9	20.5	9.5	75			22.5	22	
13	93.2	10.5	87	24			1	27	
14	111.5	19.5	2.5	2			4.5	35	
15	92	17.5	12.5				15	28.8	
16	79.8	20.5	6				3.5	25	
17	84.5	16.5	6				9.5	51	
18	102	54					1.5	6	
19	115	43					1	9.5	
20	121.5	31					8.5	18	
21	99	19.5					2.5	10	
22	103.5	15.5					3	33.5	
23	89.3	43.5					5.3	14.5	
24	92	10					5.5	13	
25	93	70					2.5	22.5	
26	85.8	16					2.5	3	
27	125	35					2	16	
28	91.5	8						2	
29	90	10						16.5	
30	86.3	17.5						22.5	
31	66.3	4.5						10	

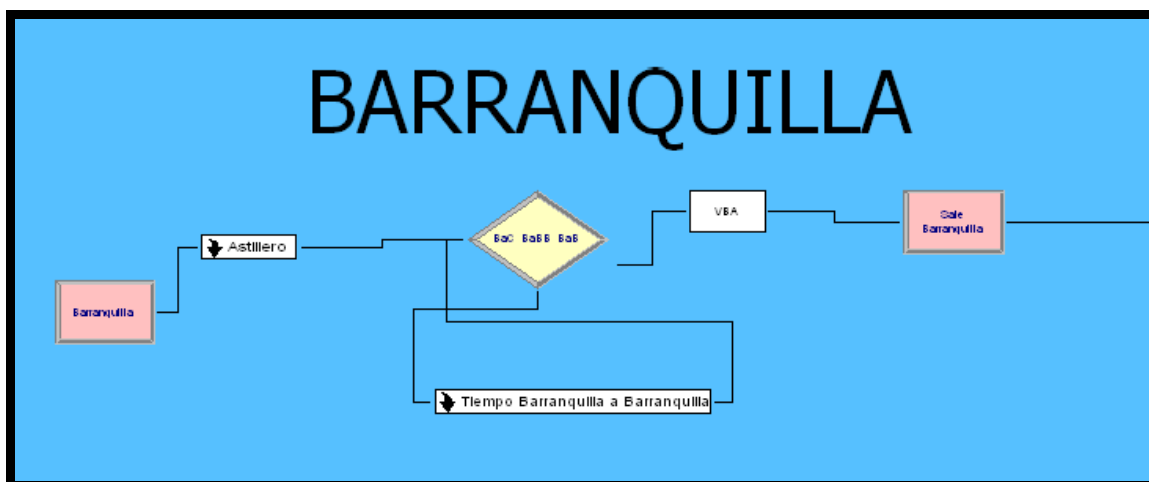
Anexo 4 *Análisis Estadístico de los Tiempos – Análisis de los Datos en la Herramienta STATGRAPHICS*



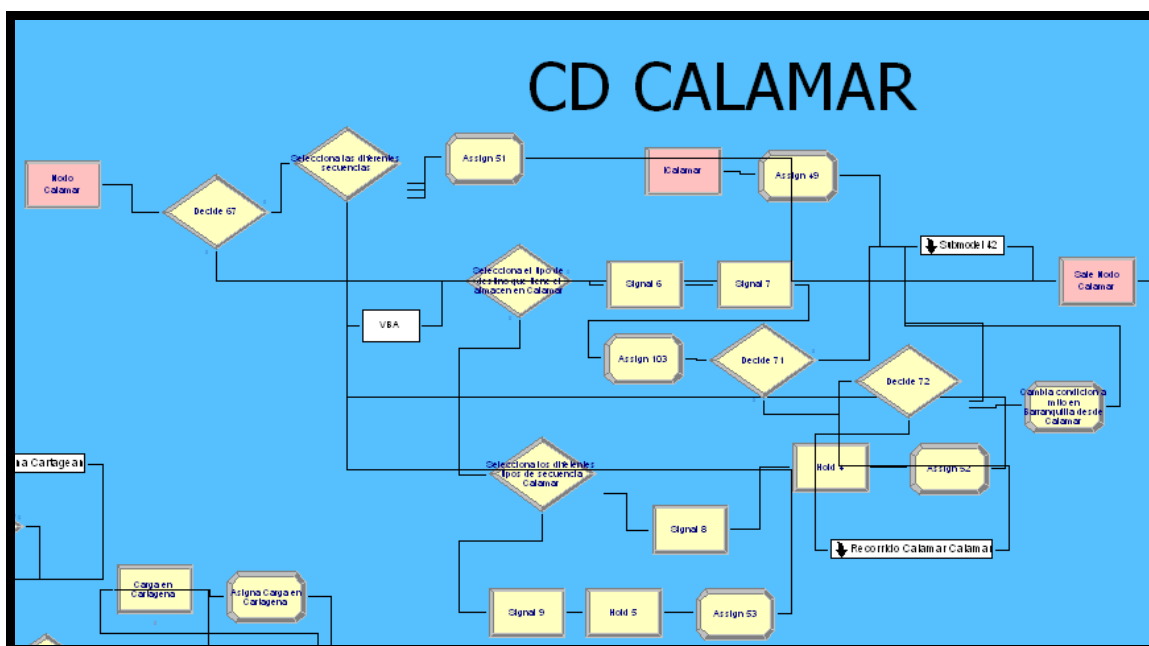
Anexo 5 Modelo de Simulación – Bloques



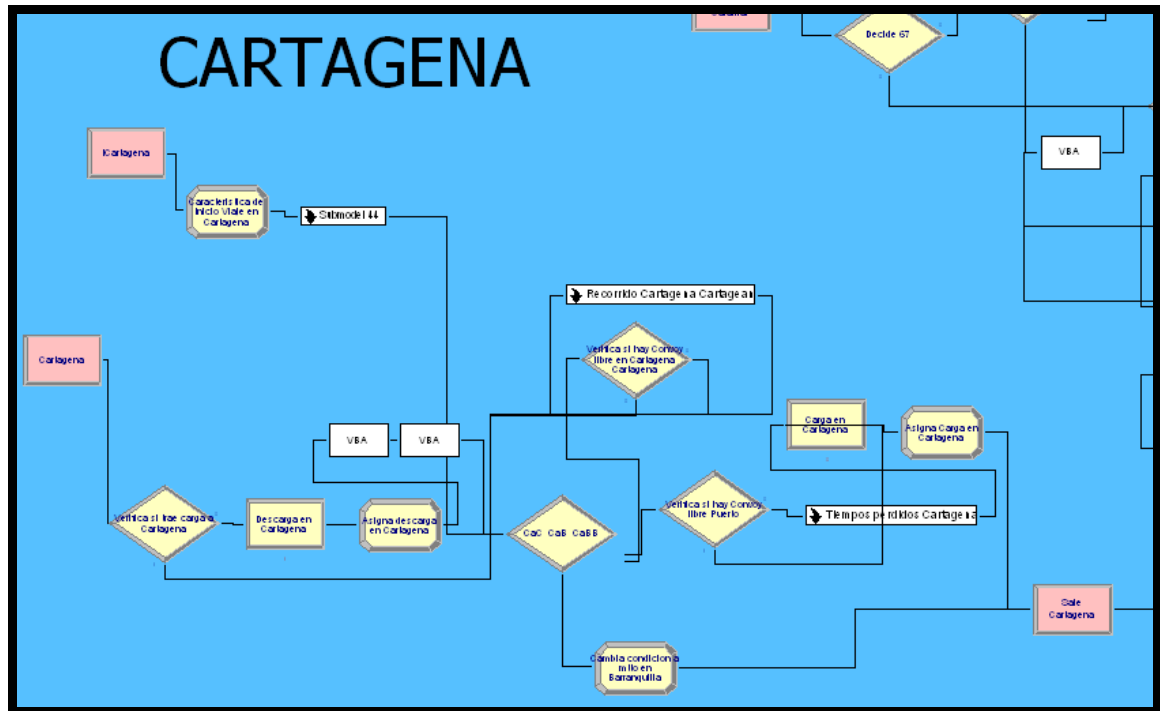
Anexo 6 Modelo de Simulación – Bloques – Operaciones Puerto de Barranquilla



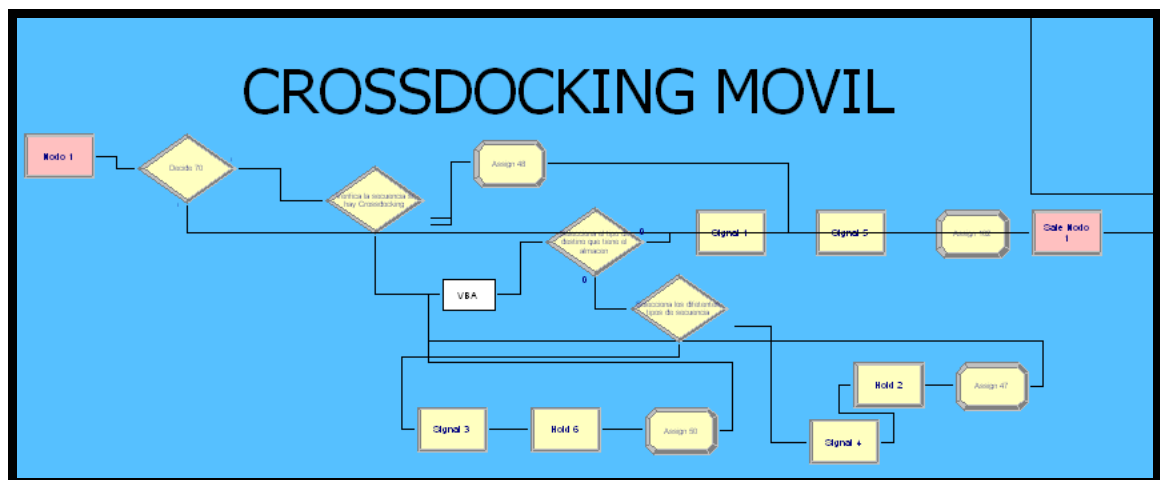
Anexo 7 Modelo de Simulación – Bloques – Operaciones Puerto de Crossdocking Calamar



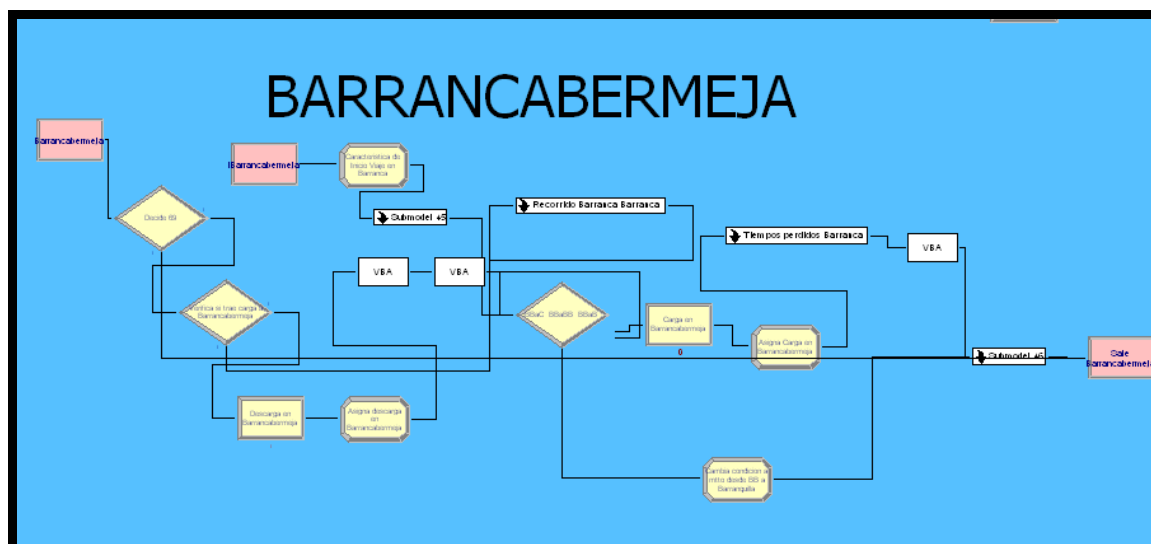
Anexo 8 Modelo de Simulación – Bloques – Operaciones Puerto de Cartagena



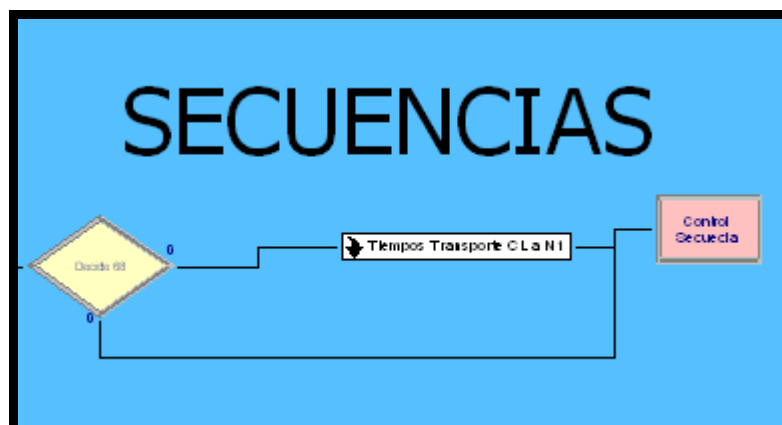
Anexo 9 Modelo de Simulación – Bloques – Operaciones Puerto de Crossdocking Movil



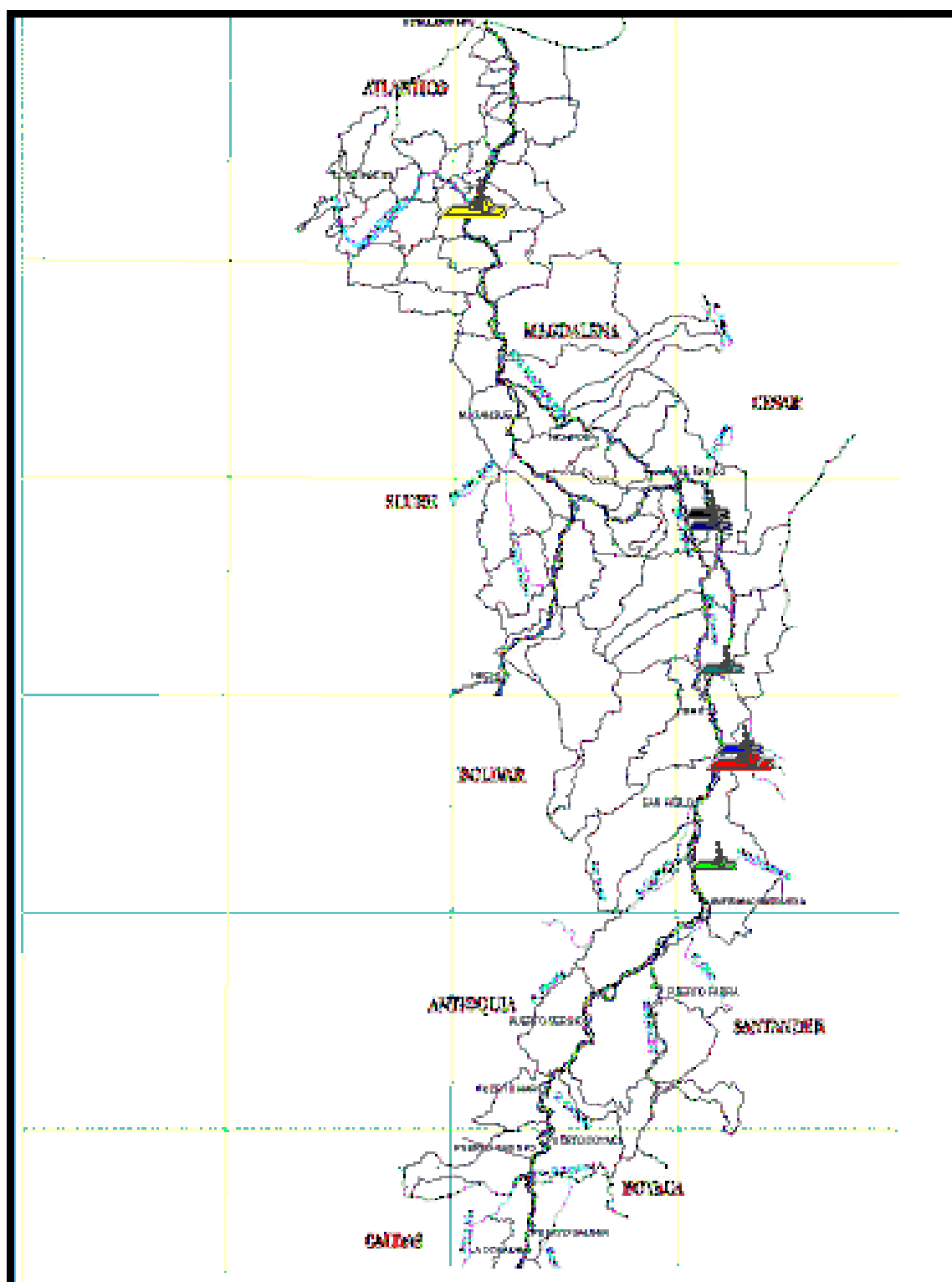
Anexo 10 Modelo de Simulación – Bloques – Operaciones Puerto de Barrancabermeja



Anexo 11 Modelo de Simulación – Bloques – Secuencias



Anexo 12 Modelo de Simulación – Río Magdalena (Operación Representada)



Anexo 13 Modelo de Simulación – Río Magdalena (Operación Representada)

